

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESPACIO TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN
EN LA CUENCA DEL RÍO PASTO, (PERÍODO 1987 – 2012)**

Pedro Fernando García Zambrano

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
SAN JUAN DE PASTO
2017**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESPACIO TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN
EN LA CUENCA DEL RÍO PASTO, (PERÍODO 1987 – 2012)**

Pedro Fernando García Zambrano

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de Geógrafo con
énfasis en Planificación Regional**

ASESOR:

German Edmundo Narváez Bravo
Profesor Asistente Departamento de Geografía

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
SAN JUAN DE PASTO
2017**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo 1 del acuerdo N° 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable consejo directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Septiembre del 2017

AGRADECIMIENTOS

Para el proceso de desarrollo y terminación de esta investigación, se contó con la contribución de personas y entidades que fortalecieron las actividades que se desarrollaron para obtener el cumplimiento de los objetivos inicialmente propuestos.

Debido a lo anterior el autor hace un reconocimiento especial al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) por el apoyo brindado, representado en toda la base de series históricas necesarias para poder desarrollar esta investigación.

De igual manera se agradece a la Universidad de Nariño, al Departamento de Geografía, al Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales (TERRA) de la Universidad de Nariño, y en especial, al coordinador de este grupo en mención, nuestro profesor, asesor y amigo: Germán Narváez, con quien se compartieron grandes experiencias tanto laborales como de la cotidianidad, con las cuales se permitió el enriquecimiento del saber y el interés por la investigación para generar conocimiento, y a los demás integrantes del grupo de investigación por su apoyo, compañerismo y empeño para desarrollar desde pequeños hasta grandes proyectos de estudio.

Igualmente se agradece a todos los compañeros y amigos que me acompañaron a lo largo de toda mi carrera y especialmente durante el desarrollo de este trabajo a, Oscar, Gabriela, Danny, Ricardo, Anderson, por ser unas excelentes personas y buenos amigos que me brindaron su amistad a cambio de nada y siempre estuvieron en las alegrías y tristezas que han hecho parte de mi vida, le agradezco infinitamente por ser mis amigos y que esta amistad perdure para siempre, muchas gracias por ser así, unas grandes personas, nunca cambien y por supuesto a Erika, por alegrar esta parte de mi vida.

Quiero agradecer a mi familia, a mis Padres, por haberme enseñado a vivir la vida de una manera especial, a mis sobrinos que han hecho de mi vida una alegría, a mi hermano Claudio que sin él no hubiese sido posible empezar o terminar esta parte de mi vida con gran satisfacción, a mis amigos de infancia que son parte de mi familia son mis hermanos que han estado ahí presentes siempre y mucho más cuando les he necesitado en vida con su apoyo incondicional y por ultimo a los técnicos y amigos de la selección de fútbol de la Udenar que compartí muchos triunfos, derrotas y grandes experiencias todos estos años.

Mil Gracias de todo Corazón.

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a la memoria de mi viejo Pedro García y mi abuelo Carlos Zambrano, que siempre están presentes en mi corazón y me han estado siempre cuidándome y guiándome desde la eternidad y a Camilo Matamanchoy aunque no estés físicamente presente siempre seremos amigos en la eternidad.

A mi mamá Rosa Lidia porque tus esfuerzos junto con los de mi papá me sacaron adelante y siempre estuvieron brindándome su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda y enseñanzas para ser de mí una mejor persona y por las cosas que he necesitado en mi vida, te doy las gracias madre.

Y por último a Erika aunque la mayoría de las veces parece que estuviéramos en una batalla, hay momentos en los que la guerra cesa y nos unimos para lograr nuestros objetivos. Gracias por no solo ayudarme en gran manera a concluir este trabajo de grado con tu empuje, sino por todos los bonitos momentos que pasamos en todo este tiempo que llevamos juntos, Te quiero Mucho.

A mi Bebe Antonella, te Amo.

RESUMEN

En el país existen muchos estudios sobre la precipitación, sin embargo la mayor parte de éstos se centran en el análisis estadístico de datos, sin analizar en detalle el efecto que el relieve produce sobre la distribución espacial de la lluvia, especialmente en la zona andina colombiana.

La región andina y principalmente la zona nariñense, el régimen normal de la precipitación está determinado por su situación geográfica y por la influencia de algunos factores importantes, tales como: la circulación atmosférica, el relieve, la interacción entre la tierra y el mar, la influencia de áreas selváticas o boscosas, etc. Para el caso colombiano, su posición geográfica en la zona ecuatorial la sitúa bajo la influencia de corrientes de aire húmedo, originadas en los océanos que bañan sus costas y en la selva del Amazonas, estas corrientes convergen sobre el territorio nacional y producen la mayor parte del total de la precipitación anual.

En este sentido, se pretende explicar la distribución espacio temporal de la lluvia a partir del análisis de la relación de esta variable con la circulación de las masas de aire y con el condicionamiento del relieve a este fenómeno atmosférico.

En este orden de ideas es necesario identificar las diferentes características de la zona de estudio, partiendo en un primer paso desde las condiciones físico-naturales, en este caso interpretando el comportamiento de la precipitación y la influencia del relieve sobre esta variable.

Para dicho propósito se traza una metodología determinada, en una primera parte por la recopilación de información fundamental para el desarrollo de la investigación, datos de precipitación y fuentes bibliográficas, con las que se obtiene una base teórica y estadística. Posteriormente se realiza el tratamiento necesario de la información recopilada, a través de diferentes herramientas como son el software estadístico y sistemas de información geográfica, permitiendo un mejor y más fácil manejo de la información para desarrollar el análisis pertinente, entrelazando los datos obtenidos, referentes al comportamiento espacio temporal de la precipitación del área de estudio.

De esta manera, para lograr demostrar las relaciones anteriormente mencionadas, se llevará a cabo un análisis geoestadístico de los datos meteorológicos de 15 estaciones distribuidas dentro y fuera de la cuenca. A partir de este análisis se generarán mapas de isoyetas mensuales y de precipitación total anual para la zona de estudio.

Finalmente, con esta información, más el análisis de la distribución del relieve se podrán plantear modelos conceptuales explicativos acerca del condicionamiento que el relieve ejerce frente a la circulación de las masas de aire y la distribución de la precipitación para el área de estudio.

Palabras clave: *Precipitación, viento, relieve.*

ABSTRACT

In the country there are many studies on precipitation, but most of these focus on statistical analysis of data, without analyzing in detail the effect that the relief produces on the spatial distribution of rainfall, especially in the Colombian Andean zone.

The Andean region and mainly the Nariño area, the normal precipitation regime is determined by its geographical location and the influence of some important factors, such as: atmospheric circulation, relief, interaction between land and sea, Influence of forest or forest areas, etc. For the Colombian case, its geographical position in the equatorial zone places it under the influence of moist air currents, originating in the oceans that bathe its coasts and in the Amazon jungle, these currents converge on the national territory and produce the greater part Of the total annual rainfall.

In this sense, we intend to explain the temporal space distribution of rain from the analysis of the relationship of this variable with the circulation of air masses and with the conditioning of the relief to this atmospheric phenomenon.

In this order of ideas it is necessary to identify the different characteristics of the study area, starting in a first step from the physical-natural conditions, in this case interpreting the precipitation behavior and the influence of the relief on this variable.

For this purpose, a determined methodology is drawn, in a first part by the collection of information essential for the development of the research, precipitation data and bibliographic sources, with which a theoretical and statistical basis is obtained. Subsequently, the necessary information is processed through different tools such as statistical software and geographic information systems, allowing a better and easier handling of the information to develop the relevant analysis, interlacing the data obtained, concerning the Temporal space behavior of the precipitation of the study area.

Thus, in order to demonstrate the aforementioned relationships, a geostatistical analysis of the meteorological data of 15 stations distributed inside and outside the basin will be carried out. From this analysis will be generated maps of monthly isoyettes and total annual rainfall for the study area.

Finally, with this information, plus the analysis of the distribution of the relief can be presented conceptual models explaining the conditioning that the relief exerts against the circulation of the air masses and the distribution of precipitation for the study area.

Keywords: Precipitation, wind, relief.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	13
1 PROBLEMA	15
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
2 JUSTIFICACIÓN	17
3 OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4 MARCO DE REFERENCIA	20
4.1 AREA DE ESTUDIO	20
4.2 ANTECEDENTES	23
4.2.1 A nivel Internacional	23
4.2.2 A nivel Nacional	24
4.2.3 A nivel Regional	25
4.3 MARCO CONCEPTUAL	25
4.3.1 Tiempo y Clima	25
4.3.2 La Precipitación	26
4.3.3 Los Factores Climáticos	27
• La Posición Latitudinal	28
• La Altitud	28
• El Relieve	28
4.3.4 La Variabilidad Climática	29
4.3.6 Zona de convergencia Intertropical (ZCIT)	30
4.3.7 Los fenómenos El Niño y La Niña (oscilación del sur)	31
5 METODOLOGÍA	33
5.1 FASE 1. ADQUISICION Y REVISION DE INFORMACION SECUNDARIA Y DATOS DE PRECIPITACION	33
5.1.1 Revisión bibliográfica	33
5.1.2 Adquisición y selección de series históricas	33
5.2 FASE 2 SISTEMATIZACIÓN Y AJUSTE DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.	34
5.2.1 Sistematización de series históricas	34
5.2.2 Diseño y elaboración de la cartografía y mapa base	34
5.3 FASE 3. GENERACION Y ANALISIS DE GRAFICOS Y MAPAS DE PRECIPITACIÓN.	35
5.3.1 Generación y análisis de datos	35
5.3.2 Generación de mapas de isoyetas	36

5.4	FASE 4. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	36
6	VARIACIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO PASTO	38
6.1	Variación mensual de la precipitación	40
6.2	Variación interanual de la precipitación ante la ocurrencia del fenómeno El Niño y La Niña	44
6.2.1	Fenómeno de El Niño 1997-1998	45
6.2.2	Fenómeno de El Niño (1991-1992)	46
6.2.3	Fenómeno de La Niña 2007-2008)	48
6.2.4	Fenómeno de La Niña 2010-2011	49
7	VARIACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PASTO	51
8	INFLUENCIA DEL RELIEVE EN LA CIRCULACIÓN LOCAL Y EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA LLUVIA	63
	CONCLUSIONES	70
	BIBLIOGRAFIA	74

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.	
Figura 1	Localización general de la Cuenca del río Pasto	22
Figura 2	Mapa de localización de las estaciones en el área de estudio	39
Figura 3	Régimen de precipitación en el área de estudio	40
Figura 4	Precipitación interanual de la cuenca del río Pasto, en presencia del fenómeno del Niño y la Niña	45
Figura 5	Anomalías de precipitación durante El Niño 1997-1998	46
Figura 6	Anomalías de precipitación durante El Niño 1991-1992	47
Figura 7	Anomalías de precipitación durante La Niña 2007-2008	49
Figura 8	Anomalías de precipitación durante La Niña 2010-2011	50
Figura 9	Comportamiento anual de la precipitación	53
Figura 10	Comportamiento medio de la precipitación Enero - Febrero	57
Figura 11	Comportamiento medio de la precipitación Marzo - Abril	58
Figura 12	Comportamiento medio de la precipitación Mayo – Junio	59
Figura 13	Comportamiento medio de la precipitación Julio – Agosto	60
Figura 14	Comportamiento medio de la precipitación Septiembre – Octubre	61
Figura 15	Comportamiento medio de la precipitación Noviembre - Diciembre	62
Figura 16	Ubicación de los perfiles para el área de estudio	64
Figura 17	Modelo de circulación y formación de nubes de lluvia en el perfil Volcán Galeras – río Pasto.	65
Figura 18	Dominancia porcentual de dirección del viento, en las estaciones Aeropuerto Antonio Nariño (izquierda) y Obonuco (derecha).	66
Figura 19	Nubes cumuliformes de origen orográfico, formadas por el ascenso de masas de aire desde los cañones de los ríos Pasto y Guáitara	66
Figura 20	Modelo de circulación y formación de nubes de lluvia en el perfil Río Guáitara – Valle de Atriz	67
Figura 21	Nubes cumuliformes formadas por el choque de masas de aire contra el volcán Galeras, provenientes del sur	68
Figura 22	Modelo de circulación y formación de nubes de lluvia en el perfil Valle de Atriz – Laguna de la Cocha (Guamués).	69
Figura 23	Nubes cumuliformes provenientes de la cuenca del Guamués, descienden y afectan las laderas altas de estas zonas e incluso al valle de Atriz	70

ÍNDICE DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Área y Porcentaje de cada municipio dentro de la Cuenca del río Pasto	20
Tabla 2 Estaciones solicitadas para el estudio	34
Tabla 3 Estaciones de referencia para el área de estudio	38
Tabla 4 Promedios medios mensuales de precipitación para el área de estudio	40
Tabla 5 Fenómenos de El Niño	45
Tabla 6 Fenómenos de El Niña	48

INTRODUCCION

El régimen normal de la precipitación en cada punto del planeta está determinado por su situación geográfica y por la influencia de algunos factores importantes, tales como: la circulación atmosférica, el relieve, la interacción entre la tierra y el mar, la influencia de áreas selváticas o boscosas, etc. Para el caso colombiano, su posición geográfica en la zona ecuatorial la sitúa bajo la influencia de corrientes de aire húmedo, originadas en los océanos que bañan sus costas y en la selva del Amazonas, estas corrientes convergen sobre el territorio nacional y producen la mayor parte del total de la precipitación anual.

Para el área de estudio los regímenes de precipitación se ven influenciados por fenómenos convectivos locales y por la influencia de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), y por otras anomalías como son el fenómeno de El Niño y de La Niña, los cuales generan cambios en las características climáticas propias de la región, además de generar alteraciones en las variables climáticas en gran parte del país.

El estudio del análisis espacio-temporal nos dará a conocer las características fundamentales del comportamiento y la distribución anual y mensual de la precipitación y su interacción con el relieve en la cuenca del río Pasto (Departamento de Nariño).

La caracterización pluviométrica para el área de estudio se llevó a cabo la utilización de información disponible en 15 estaciones repartidas en: 8 pluviométricas, 3 climatológicas, 1 sinóptica, 1 meteorológicas y 2 agrometeorológicas, que hacen parte de la red meteorológica administrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). En total, los siete mapas de isoyetas producidos, han permitido reconocer el comportamiento de la precipitación en la cuenca, la cual cuenta con un área de 48.258 ha (482.58 Km²).

De esta manera, el proyecto se enmarca dentro de la línea de investigación denominada estudios físicos-naturales, contemplada en el plan de estudios del Programa de Geografía. Por el cual, este documento es desarrollado con el fin de cumplir uno de los requisitos esenciales para optar al título de geógrafo con énfasis en planificación regional y ordenamiento territorial.

Este documento técnico se encuentra estructurado en 5 capítulos. En el primero de ellos se incluye la descripción del problema, objetivos de la investigación y la justificación. En el segundo capítulo se presentan los antecedentes, el área de estudio y el marco conceptual que establece los fundamentos teóricos de tipo climatológico, meteorológico y geográfico que sustenten el análisis de los resultados. En el capítulo tres se describe el proceso metodológico de forma detallada, acerca de los procesos que se desarrollaron y así cumplir con los objetivos propuestos. Los capítulos IV y V están conformados por el análisis e interpretación de los resultados y las conclusiones de la investigación. Es así como para la zona de estudio se aborda de manera específica las temáticas relacionadas con la variación espacial y mensual, y el condicionamiento del relieve respecto a la circulación del aire y la formación de núcleos de alta y baja precipitación.

Esta investigación es básica – cuantitativa y se toma información estadística como base para poder generar, a través de diferentes argumentos, la afirmación u oposición a

diversas teorías que existen sobre los fenómenos a tratar. Puesto que a partir del análisis de las características propias de un área delimitada se procede a la argumentación y conclusiones, generando así nuevos conocimientos con lo que se contribuye al desarrollo de la geografía en un nivel local, regional y nacional.

Finalmente es de anotar que el investigador de este estudio se encuentra vinculado al Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales (TERRA), perteneciente a la Universidad de Nariño (Departamento de Geografía). Este trabajo hace parte de los proyectos que adelanta el Grupo, el cual se encuentra inscrito en COLCIENCIAS.

1- PROBLEMA

1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál es el comportamiento espacio-temporal de la precipitación en la cuenca del río Pasto entre los años 1987 - 2012?

1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En este trabajo se pretende analizar la distribución espacial de la precipitación y la incidencia del relieve, para el sector de la cuenca del río Pasto en el departamento de Nariño. La distribución espacial y temporal de la precipitación responde esencialmente a las condiciones atmosféricas. La meteorología ha descuidado el efecto que las montañas tienen en la generación y condicionamiento de dicha distribución espacio temporal. De esta forma, muchos modelos de circulación global desconocen o minimizan la incidencia de las cadenas montañosas, como son los Andes y otros sistemas montañosos a nivel mundial que sobrepasan alturas de más de 4000 m.s.n.m. Desde la zona ecuatorial hasta latitudes medias y altas, el flujo básico de la troposfera está afectado por las barreras naturales (relieve). Más aún en la zona ecuatorial, si se parte del hecho que los alisios son vientos superficiales, los Andes favorecen el ascenso forzado de las masas de aire provenientes del este, y condicionan al mismo tiempo los efectos de sistemas sinópticos.

A nivel mensual se identifica un régimen bimodal el cual se explica por el desplazamiento de la zona de confluencia intertropical (ZCIT). De acuerdo al (IDEAM, 2001)¹, este se presenta por la convergencia y el calentamiento diurno de las masas de aire que ascienden alcanzando incluso el tope de la troposfera. La condensación por enfriamiento permite la formación de nubes de desarrollo vertical que producen abundantes lluvias. Según (Eslava, 1993)², “en Colombia la ZCIT fluctúa, aproximadamente entre 0° N, posición en la que se encuentra entre enero y febrero, y 10° N, posición extrema que se puede alcanzar en julio y agosto. Es así como la ZCIT pasa dos veces al año por el centro del país, la primera entre abril y mayo cuando se desplaza hacia el norte, y la segunda entre septiembre y octubre cuando regresa de su posición norte más extrema dirigiéndose hacia el sur”, lo que ocasiona las lluvias al principio y finales de año en la zona de estudio.

Para el área de estudio según el (POMCH, 2008)³ se observa un primer período lluvioso que ocurre entre marzo y mayo y entre octubre y diciembre siendo la más intensa que la presentada a mediados de año. Los períodos secos se encuentran a comienzos y mitad de año, siendo más acentuado el período de mitad año. En el comportamiento interanual de la precipitación y su dinámica espacial en el área, se ve afectada por diferentes situaciones meteorológicas y el de mayor influencia en la generación de lluvia en la cuenca es el fenómeno de El Niño - Oscilación Sur (ENOS), Según el IDEAM⁴, consiste en el calentamiento de las aguas superficiales del centro y el este del océano pacífico

¹ IDEAM. El medio ambiente en Colombia. 2001. 543 p.

² ESLAVA, Jesús. Climatología y diversidad climática. Santafé de Bogotá D.C:1993. 248 p.

³ PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO PASTO, “RENACE RÍO PASTO”, Septiembre: 2008.

⁴ IDEAM. [on line]. Efectos naturales y socioeconómicos del Fenómeno El Niño en Colombia. Disponible en internet: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/colombia-efectos.pdf>>

tropical que produce una profundización de la termoclina, además de generar un aumento de las precipitaciones en la región Pacífica, mientras que en la región Caribe, Andina, los Llanos Orientales y en los valles interandinos se presenta un déficit de precipitación y un aumento en la temperatura. Este fenómeno está asociado también con el debilitamiento de los vientos Alisios del este y con el desplazamiento del centro de convección del oeste, debido a que el calentamiento de las aguas permite el desplazamiento de esta zona hacia el centro del Pacífico tropical. Por otra parte, El Niño y La Niña son las fases extremas del ciclo ENOS, los cuales estos presentan una alta incidencia sobre los patrones pluviométricos en la mayor parte de Colombia.

Por otro lado, la distribución espacial de la precipitación es el resultado de los patrones bimodales presentes en la región andina colombiana. En el que según (Hurtado, 2000)⁵, concluye que en la montaña nariñense llueve al año aproximadamente entre 1000 y 1500 mm en el valle de Atriz, y presenta un rango de variación que va desde los 500 mm a valores superiores a los 2500 mm en promedio al año. En gran parte de la zona predominan las lluvias entre 800 y 2100 mm en dirección Sur-Norte del área de estudio, especialmente en las partes altas de la cuenca. La presencia de la cordillera, al parecer, no solo facilita el establecimiento de regímenes bimodales en su interacción con la ZCIT, sino también la existencia de pequeños núcleos de mayor y menor precipitación en algunos sectores de la cuenca del río Pasto.

Estas características tienen que ver con la conducción que ejerce el relieve sobre las masas de aire más húmedas que ascienden por la vertiente oriental y occidental de la cordillera centro-oriental. Las cuales se presentan condiciones de barlovento y sotavento, efectos Föhn, fenómenos de chimenea por los cañones de los ríos Guaitara y Pasto, brisas valle – montaña y montaña – valle, convección diurna y ascenso orográfico forzado⁶, son entre otros fenómenos, los que mayor incidencia tienen en la cantidad de lluvia que se presenta en la zona así como en la dirección y velocidad de los vientos. Estas características físico-geográficas son las responsables de que haya un alto grado de la alternancia de los períodos de lluvia y de tiempo seco, dependiendo de su ubicación geográfica.

Finalmente, cobra importancia el de resolver dos de las preguntas centrales que estarían direccionadas a resolver el tema de ¿cuál es la distribución espacio temporal de la precipitación?; y la otra sería, ¿cómo influyen las condiciones orográficas y los factores climáticos u otros fenómenos en dichos comportamientos?

De esta manera se puede realizar un análisis integral que permita abordar el problema de estudio (la distribución espacio temporal de la precipitación en la cuenca del río Pasto), desde una perspectiva geográfica teniendo en cuenta tanto la complejidad de los fenómenos climáticos como diversos aspectos geográficos asociados a la latitud, la distancia al mar y el relieve principalmente, sumando a esto distintas interpretaciones y análisis que permitan explicar dicha distribución.

⁵ HURTADO, Gonzalo. La precipitación en Colombia. IDEAM 2000. p 39

⁶ NARVÁEZ, Germán. Análisis de la lluvia mensual y su interacción con el relieve y la circulación local en sectores de baja precipitación de la zona andina colombiana. 2010. p 9

2. JUSTIFICACIÓN

Dentro del sistema climático mundial se encuentran diferentes elementos que interactúan entre sí para determinar el clima de diferentes regiones del globo, y tal vez los más importantes y más tenidos en cuenta por diferentes autores, se refieren a la distribución espacio-temporal de la precipitación y a los cambios en la temperatura media del aire, además estas dos variables, así como los factores que las condicionan, son de gran importancia dentro del contexto ambiental y socio-económico de cualquier región.

En Colombia y específicamente la cuenca del río pasto están localizadas en la franja ecuatorial y en la región andina, la cual se encuentra bajo la influencia directa de la ZCIT, el cual es una situación climática determinante en la distribución de las variables climatológicas. Parte de este contraste, los valores de la precipitación se debe a la situación de barrera física que conforman los andes colombianos la cual limita el paso de masas de aire húmedas hacia las partes internas de la cordillera. En este sentido se pretende explicar la distribución espacio-temporal de la lluvia a partir del análisis de la relación de esta variable con la circulación de las masas de aire y con el condicionamiento que ejerce el relieve.

Dada ubicación geográfica, la variada topografía y el régimen climático que caracterizan al territorio colombiano han determinado que posea una de las mayores ofertas hídricas del planeta. Si bien se reconoce la riqueza hídrica nacional, tanto en la distribución espacial como temporal, este enorme potencial se restringe en un aprovechamiento por la confluencia de múltiples factores antrópicos que han generado efectos en los componentes del ciclo hidrológico y en especial, sobre la calidad del agua por incorporación de residuos a las fuentes que los abastecen.

Por otro lado, el estudio del clima es fundamental en el ámbito de una cuenca hidrográfica dado que es el principal factor de alteración de las condiciones ambientales de la misma. Los diferentes parámetros meteorológicos definen un clima particular, que modifica y altera significativamente el comportamiento de la red de drenaje y su ambiente, como por la frecuencia y ocurrencias de fenómenos climáticos como el fenómeno de la Niña y el Niño que inciden en gran medida en la distribución de la precipitación en el territorio colombiano. Por lo tanto es importante conocer no sólo la distribución espacial y temporal de los diferentes parámetros meteorológicos, dada la incidencia directa que estos presentan sobre las actividades humanas en la cuenca.

Sin embargo, la distribución espacial de las lluvias es fundamental para comprender los regímenes de precipitación, ya que esta es uno de los elementos meteorológicos que en conjunto con la temperatura tiene la capacidad de influir notablemente en las actividades humanas. En Colombia los estudios sobre las lluvias son diversos y algunos de estos se han centrado en la descripción del régimen mensual, anual o interanual de este elemento, con los cuales se puede dar inicio a muchos y diversos trabajos que se enfoquen en estas áreas del clima. Varios de estos estudios se han realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

A consecuencia de lo anterior, surge la necesidad de realizar estudios enfocados a identificar los patrones de comportamiento de las variables climáticas en donde las precipitaciones juegan un rol central; ello, debido a que la principal fuente de ingreso de

agua a las redes hídricas de las cuencas hidrográficas. Por lo tanto, cobra relevancia definir si han existido variaciones en los patrones de distribución de las lluvias en la cuenca del río Pasto y así conocer el comportamiento de las precipitaciones a través del tiempo.

Estos resultados permitirán aportar al conocimiento de la dinámica climática en el área y contribuir en la toma de decisiones respecto al establecimiento de mecanismos para acelerar la adaptación a los nuevos cambios que se presenten en el ambiente, convirtiéndose entonces en un insumo para la gestión ambiental, el ordenamiento y la planificación territorial.

Es importante considerar los estudios de este estilo ya que permiten dar la atención e importancia que tienen los parámetros climáticos sobre los servicios ambientales y el recurso hídrico. Partiendo de esto, estudios como éste nos ayudarían a entender más sobre la dinámica espacial de la precipitación y otras variables sobre un lugar determinado.

Teniendo en cuenta, que la ciencia geográfica a través de la investigación y la utilización de herramientas de sistema de información geográfica (SIG), entre otros, permiten conocer la dinámica del entorno ambiental en el que se vive y que facilita identificar los conflictos de uso que a un futuro cercano van a incidir en el buen vivir de las personas. Por ende, es por medio de esta misma ciencia que se busca dar solución a los problemas que se consideran prioritarios para la conservación del ambiente.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento espacio – temporal de la precipitación en la cuenca del río Pasto en el periodo de 1987-2012.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Caracterizar el comportamiento temporal de la precipitación a nivel mensual e interanual para el área de estudio.
- ❖ Describir la variación espacial de la precipitación para el área de estudio en el periodo de 1987-2012.
- ❖ Analizar los factores geográficos que inciden en el comportamiento de la precipitación en el área de estudio.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 AREA DE ESTUDIO

La cuenca hidrográfica del río Pasto, el cual es uno de los principales afluentes del río Juanambú, hace parte de la gran cuenca del río Patía. Esta se encuentra ubicada en la cordillera Centro-Oriental, en el Departamento de Nariño.

De esta manera, los límites de la cuenca del río Pasto son: al norte con el municipio de Taminango, al noroccidente con el municipio del Tambo, nororiente con el municipio de San Lorenzo, al sur con la cuenca del río Bobo y con el corregimiento de Santa Bárbara, al suroriente con la cuenca del río Guamuez y el corregimiento del Encano, al suroccidente con los municipios de Yacuanquer y Tangua, al oriente con la cuenca del río Juanambú y el municipio de Buesaco y al occidente con la cuenca del río Guátara y los municipios de la Florida, Sandoná y Consacá.

En su parte política administrativa la cuenca está conformada por seis municipios como son Chachagüi, El Tambo, Nariño, Tangua, La Florida y el municipio de San Juan de Pasto. En cuanto a su área es de 48.258 Ha (482.58 Km²), como se aprecia en la tabla 1.

Tabla 1. Área y Porcentaje de cada municipio dentro de la Cuenca del río Pasto.

Municipio	Áreas (Ha)	Porcentaje (%)
CHACHAGUI	4676,4	9,70
EL TAMBO	3682,1	7,60
LA FLORIDA	4847,7	10,04
NARINO	2577,2	5,34
PASTO	31151,9	64,55
TANGUA	1323,2	2,74
TOTAL	48.258,6	100,00

Fuente: POMCH, río Pasto, 2008.

Para el (POMCH del río Pasto, 2008)⁷, se identifica tres grandes sectores denominados: sector alto, medio y bajo de la cuenca.

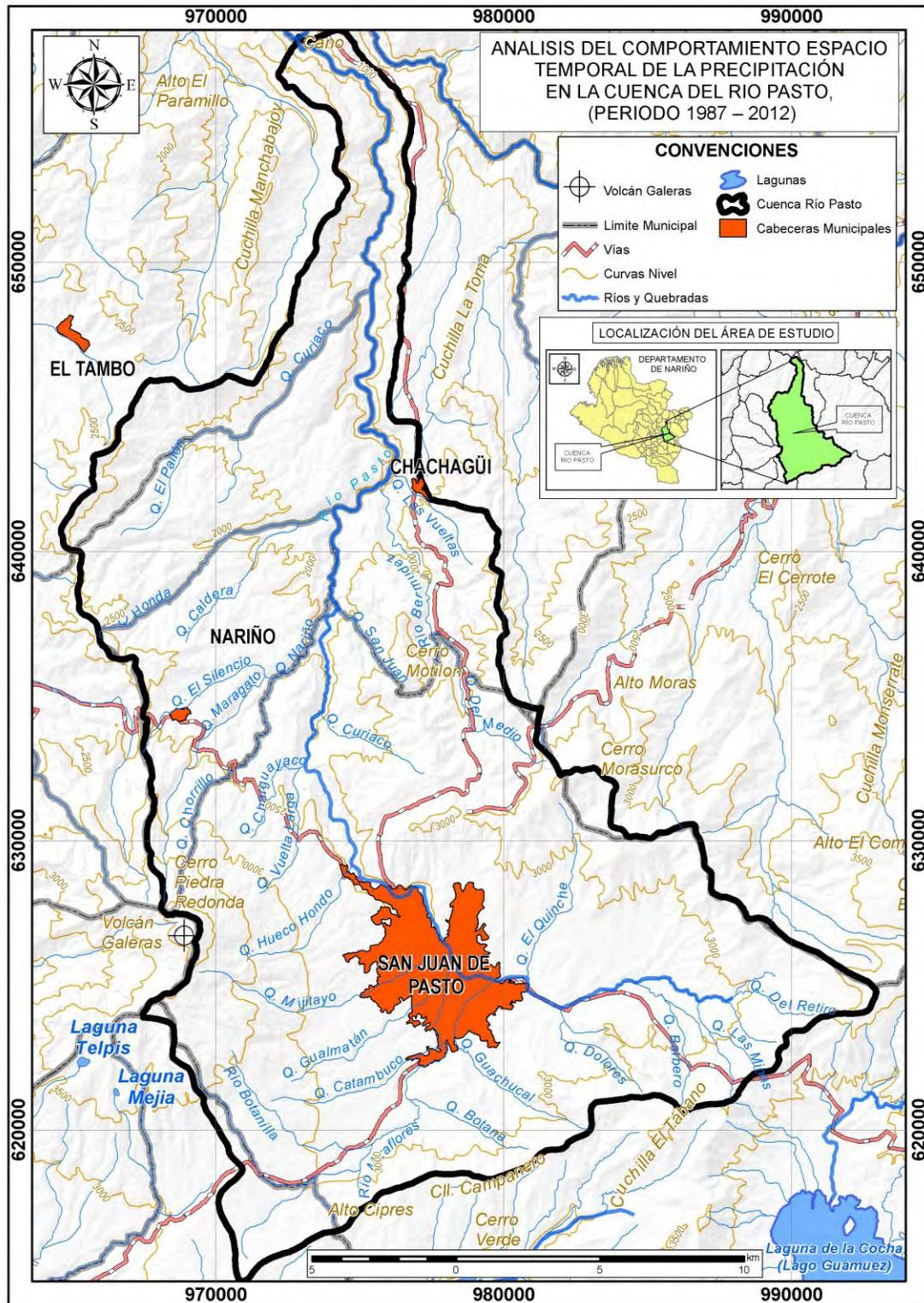
La parte alta comprende desde la divisoria sur de la cuenca a una altura de 3600 m.s.n.m hasta el límite inferior de las microcuencas el Quinche y Dolores en el margen izquierdo de la cuenca, el cual se encuentran 15 afluentes que alimenta el caudal inicial del río Pasto. Esta área es de gran importancia, dado que es la zona de recarga donde nace el río y está asociada a cobertura vegetal de páramos y de bosque alto andino. Este sector tiene una extensión aproximada de 8000,84 ha, correspondiente al 16,58% del área total.

⁷ PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO PASTO, "RENACE RÍO PASTO"; 2008. op. cit., p 24

Administrativamente está conformada por 4 corregimientos principalmente como la Laguna, San Fernando, Buesaquillo y Cabrera, que corresponden al municipio de Pasto. La parte media de la cuenca comprende la zona del valle bajo, desde la cota de los 2600 hasta los 1800 m.s.n.m, y abarca principalmente la zona urbana de Pasto, y los corregimientos como Catambuco, Jamondino, Gualmatan, Obonuco y Jongovito y las microcuencas Curiaco, Chupadero y Santa Ana en el margen izquierdo y quebrada Duarte por el margen derecho. Esta sección de la cuenca tiene una superficie aproximada de 30409,07 ha, siendo la de mayor tamaño con un 63,01% del área total. A esta parte de la cuenca discurren 20 afluentes y corrientes directas que realizan un aporte significativo al caudal principal, además muchas de las corrientes entran al casco urbano de Pasto.

La cuenca baja se inicia desde los 1800 m.s.n.m, asociada a pendientes pronunciadas, superiores al 45%, y es donde empieza a encañonarse el río hasta la desembocadura del mismo en el río Juanambú, a una altura de 765 m.s.n.m. Este sector tiene una extensión aproximada de 9848,72 ha con el 20,41% del total del área de la cuenca. A esta sección de la cuenca hacen parte dos municipios, Chachagüi por el margen derecho del curso del río (vereda el Cano) y el municipio de El Tambo, por el margen izquierdo (vereda Ricaurte).

Figura 1: Localización general de la Cuenca del río Pasto.



Fuente:

4.2 ANTECEDENTES

En Colombia se han realizados diversos estudios sobre la precipitación, algunos se han centrado en sus diferentes regímenes (mensual, anual, interanual), los cuales sirven para conocer la variación climatológica en una zona específica. Para esta investigación se hace necesaria la comprensión de la variación espacio-temporal de la lluvia, por lo cual se deben entender primero los fenómenos que condicionan a estos elementos climáticos. Tal vez el mayor determinante del comportamiento de la precipitación en el país, es la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) sobre la cual existen diferentes documentos en los que se explica la variación estacional de este sistema de mesoescala y como este condiciona la precipitación.

4.2.1 A nivel Internacional: se han desarrollado diferentes investigaciones que han tratado de caracterizar los cambios espacio-temporales de la precipitación en diferentes áreas. En México, (Mendoza, 2007)⁸, hizo un análisis espacial de la precipitación en la Subcuenca del bajo Grijalva, en sus medias mensuales y medias anuales a partir de los registros históricos mediante el método de interpolación y el modelo Kriging lineal. En Venezuela, en el estado de Guárico (Cortez, et al, 2002)⁹, hizo un análisis exploratorio de datos y un análisis de correlación de la precipitación, utilizando la geoestadística y la interpolación con el método kriging, mediante una caracterización espacio temporal de la precipitación, a partir de datos promedio mensuales y anuales en un periodo de 29 años.

Por otra parte, (García, et al, 2002)¹⁰ elaboro un estudio de la caracterización espacio-temporal de la precipitación, mediante una red de 29 observatorios distribuidos por toda la cuenca del Ebro. En Bolivia, (Ramírez et al, 1995)¹¹, realizo un estudio de las tendencias de variabilidad espacial de la precipitación y temporal a nivel anual hasta el horario, en la Paz, entre variables topográficas de la cuenca (altitud, orientación y distancia a la cadena montañosa) a través de sus series históricas, definiendo de esta manera la influencia del relieve sobre la variabilidad de las precipitaciones.

Teniendo en cuenta lo anterior la precipitación es una variable importante para entender la variación climatológica en una zona específica, a raíz de esto se encuentran diferentes documentos y libros, entre los que se destaca el libro climatología de los autores (Cuadrat y Pita, 2006)¹², en el que realiza una descripción sobre las generalidades de la precipitación y otras variables climáticas.

⁸ MENDOZA, et al. [on line]. Análisis espacial de las lluvias en la Subcuenca del bajo Grijalva. Disponible en internet: <http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/2011_cnch2_mon_lvelasco.pdf>

⁹ CORTEZ, A. et al [on line]. Caracterización espacio temporal de la precipitación en el estado de Guárico - Venezuela. Disponible en internet: <http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/CVCS19/suelo_espacio_tiempo/SET25.pdf>

¹⁰ GARCÍA, et al (2002). [on line]. Evolución de las precipitaciones en la cuenca del Ebro, caracterización espacial y análisis de tendencias. Disponible en internet: <<http://www.ftp://oph.chebro.es:2121/bulkdata/documentacion/clima/tendcom.pdf>>

¹¹ RAMÍREZ, et al. [on line]. Régimen espacial y temporal de las precipitaciones en la cuenca de la paz Disponible en Internet:< [http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/24\(3\)/391.pdf](http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/24(3)/391.pdf)>

¹² CUADRA & PITA. Climatología 4ª. Ed, 2006. 483 p.

De igual manera, otro libro de gran importancia es el de (Gil Olcina y Olcina Cantos, 1997)¹³, llamado Climatología General en el cual describe detalladamente esta variable y las repercusiones atmosféricas de la actividad humana. Otro capítulo de este libro de importancia es el denominado, el fenómeno ENSO (El Niño y la oscilación sur en el Pacífico), además este capítulo contiene información muy significativa sobre el fenómeno de La Niña, la circulación de vientos y otros factores que influyen o se ven influenciados por el fenómeno. Por último, tenemos el libro de Geografía Física de (Arthur N. y Alan H. Strahler, 1989)¹⁴, habla sobre la precipitación y la importancia de este sobre la superficie terrestre.

4.2.2 A nivel Nacional se han realizado investigaciones sobre la precipitación como es el caso (Puertas, et al 2011)¹⁵, el cual realizó un análisis de la cuenca alta-media del río Cauca - Colombia, y estudia las tendencias de la precipitación mensual y los cambios espacio-temporales en el patrón regional de las lluvias. En el país se han desarrollado diferentes estudios sobre la precipitación, como el realizado por (Pabón, et al 2001)¹⁶ sobre las generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. El trabajo elaborado por (Hurtado, 2000)¹⁷, hizo una investigación sobre la precipitación en Colombia en la que utiliza métodos actuales de procesamiento de datos y georeferenciación de información, presentando una caracterización de la distribución espacial y temporal de este elemento.

Por otra parte, otro estudio de interés es el de (Jaramillo. y Chaves,. 1997)¹⁸, en el que hace una descripción de la distribución de la precipitación en Colombia; usando la conglomeración estadística, el cual plantea una regionalización de la distribución de la precipitación mensual utilizando conceptos de macroclima (ZCIT) y de topoclima considerando las principales cuencas hidrográficas y regiones naturales del país.

Para el país se desarrolló el Atlas climatológico de Colombia realizado por el (IDEAM, 2005)¹⁹, documento que habla sobre las generalidades del tiempo y clima y de la distribución espacio temporal de las variables. El libro del autor (Eslava, 1994)²⁰, se ha centrado en la descripción de la climatología del Pacífico Colombiano, el cual realiza una descripción sobre las generalidades de la región Pacífica colombiana, incluyendo el análisis de la precipitación y otros elementos climáticos en la región.

Con referencia, a otros artículos de importancia son los realizados por (Rangel, 1996)²¹ y (Bernal, et al 1989)²², el primero explica las tendencias observadas en los regímenes de

¹³ OLCINA & CANTOS. Climatología general. 1997. 579 p.

¹⁴ ARTHUR N. Y ALAN H. STRAHLER. Geografía Física. 1989. 448 p.

¹⁵ PUERTAS, et al (2011). Estudio de tendencias de la precipitación mensual en la cuenca alta-media del río Cauca, Colombia.

¹⁶ PABÓN, et al (2001). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia.

¹⁷ HURTADO, Gonzalo. La precipitación en Colombia. IDEAM 2000. p 39.

¹⁸ JARAMILLO, A., y CHÁVEZ, B. Distribución de la precipitación en Colombia. Uso de la conglomeración estadística. 1997, p 63 - 71.

¹⁹ IDEAM. Atlas Climatológico de Colombia. Parte I, 2005. 217 p

²⁰ ESLAVA J. Climatología del Pacífico Colombiano. Santafé de Bogotá DC. Colombia 1994.

²¹ RANGEL, E. tendencia observada en los regímenes de precipitación de las distintas regiones naturales en Colombia. IDEAM, Diciembre 1996.

²² MONTEALEGRE et al (1989). HIMAT, Estudio sobre el régimen de la precipitación en Colombia.

precipitación de las distintas regiones naturales en Colombia y el segundo habla del régimen de la precipitación a nivel mensual y anual sobre su comportamiento y distribución. Son tal vez unos de los documentos más relevantes sobre este parámetro en el país.

4.2.3 A nivel Regional. Al hablar de la variación espacio -temporal de la precipitación, se encontraron pocos estudios sobre este tema; Por otro lado se realizó un estudio regional importante sobre el análisis de la lluvia mensual y su interacción con el relieve y la circulación local en sectores de baja precipitación de la zona andina colombiana, realizado por (Narváez, 2010)²³ el cual explica la distribución espacio temporal de la lluvia a partir del análisis de la relación de esta variable con la circulación de las masas de aire y con el condicionamiento del relieve a estos fenómenos atmosféricos.

Por otro lado, el estudio realizado por (CORPONARIÑO, 2007)²⁴, sobre las características biofísicas de los páramos de Nariño. Este describe los diferentes parámetros atmosféricos y su interacción con el relieve. Por último el estudio elaborado por el (POMCH del río Pasto, 2008)²⁵, explica la precipitación de manera muy general, ya que se tiene en cuenta más es el uso y manejo integral del suelo en la cuenca. Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesario realizar un estudio específico sobre el comportamiento espacio-temporal de la precipitación y la influencia del relieve en este parámetro y su distribución dentro de la cuenca del río Pasto.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Para el desarrollo de la investigación se tienen en cuenta los siguientes conceptos, los cuales permiten comprender la dinámica espacial de los procesos que se van a estudiar. A continuación se realizará una descripción de los términos más relevantes para el desarrollo de esta investigación, basada en su mayoría en la recopilación de información de lo dicho por diferentes autores, con el fin de precisar los alcances de la información que se incorporará en los diferentes aportes del documento.

4.3.1 Tiempo y Clima: Antes de abordar la temática de la presente investigación resulta muy importante establecer las diferencias entre estos dos conceptos.

- ❖ **El Tiempo:** “según el (IDEAM, 2005)”²⁶, es la manifestación de la dinámica de la atmósfera en un lugar y momento determinados, generando variaciones espacio temporales, por otro lado para (Sándor, 2004)²⁷ es el estado instantáneo de la atmósfera, o la secuencia de estados de la atmósfera que se va produciendo a medida que pasa el tiempo en un lugar determinado.

²³ NARVÁEZ, Germán. Análisis de la lluvia mensual y su interacción con el relieve y la circulación local en sectores de baja precipitación de la zona andina colombiana. 2010. 185 p.

²⁴ PROYECTO ESTADO DEL ARTE DE LA INFORMACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA.

Características Biofísicas de los Páramos de Nariño. Febrero de 2007. 276 p.

²⁵ POMCH DEL RÍO PASTO; 2008. op. cit., p 250.

²⁶ IDEAM. Atlas Climatológico de Colombia. Parte I. op cit , p 3.

²⁷ SZALAI, SÁNDOR. [on line]. El Tiempo y Clima, Bases. Servicio Meteorológico Húngaro. Disponible en Internet:< http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1__Tiempo_y_frentes/-_Tiempo_y_clima_3b1.html>

Por su parte (Nekliukova, 1986)²⁸, lo define como el estado físico que adopta la atmósfera en una localidad dada durante un determinado momento o un plazo de tiempo que se producen en su interacción con la superficie subyacente y se caracteriza por estar constituido por un conjunto de elementos y fenómenos meteorológicos.

- ❖ **El clima:** para (Hann, 1882) citado por (Martonne y Max Sorre, 1934)²⁹ el clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto cualquiera de la superficie terrestre. Que denomina el clima a la serie de los estados de la atmósfera por encima de un lugar de su sucesión habitual. A su vez, el (IDEAM, 2005)³⁰ lo especifica como la fluctuación de las condiciones atmosféricas caracterizado por los estados y evoluciones del estado del tiempo y la interacción de diferentes factores atmosféricos, biofísicos y geográficos. Por su parte (Pédélaborde, 1970)³¹, lo define como el resultado de una combinación de elementos de las tendencias dominantes y permanentes, más generales de la atmósfera de un determinado lugar. Generalmente el clima presenta unas condiciones constantes en el tiempo y el espacio e influyen en aspectos relacionados con la transferencia de energía y calor, los de mayor importancia son la latitud, altitud, la elevación y la distancia al mar y otras variables del sistema climático.

4.3.2 La precipitación. Para el desarrollo de esta investigación y de la explicación de los resultados es necesario tener en cuenta el término de precipitación, ya que en la mayoría de los textos hablan más sobre este concepto por ser el más adecuado a las características atmosféricas de cualquier región y es el término más relevante para la cuenca del río Pasto; pero en algunas ocasiones se recurrirá al término lluvia.

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico, responsable del depósito de agua dulce en el planeta y, por ende, de la vida en nuestro planeta, de la que depende en buena parte el paisaje vegetal y la actividad humana. A su vez, (Cuadrat et al, 2006)³² define el termino precipitación como todas las formas de humedad caídas directamente sobre el suelo en estado líquido o sólido, aunque en general, solo la lluvia y la nieve son desprendidas de las masas nubosas que contribuyen de modo significativo a los totales pluviométricos. Sin embargo tanto su distribución temporal y espacial como su cantidad y frecuencia son muy variables. Para (Casas et al, 1977)³³, es un proceso generado por las nubes cuando alcanzan un punto de saturación, es donde las gotas de agua aumentan de tamaño hasta alcanzar el punto en que se precipitan por la fuerza de gravedad.

²⁸ NEKLIUKOVA, Nina. Petrovna. [on line]. Geografía Física General I. 1986, 357p. Disponible en Internet:<<http://www.ilustrados.com/tema/8601/Tiempo-clima-vision-para-estudio-clasificaciones.html>>

²⁹HANN, Julius. citado por Martonne, E. y La de Max Sorre. Manual de Climatología. Disponible en Internet:<<http://www.contraclave.es/geografia/tiempoclima.PDF>>

³⁰ IBIP. pág.3

³¹PÉDÉLABORDE, P. Introduction á l'étude scientifique du climat. Disponible en Internet:<<http://www.contraclave.es/geografia/tiempoclima.PDF>>

³² CUADRAT et al (2006). La Precipitación. Climatología 4ª. Ed. p.135 – 191.

³³ CASAS, et al (1977). Compendio de Geografía General p 54 y 55. Citado por:<<http://es.wikipedia.org/wiki/precipitación>>

En cuanto a (Cuadrat et al, 2006)³⁴ aclara que las condiciones necesarias para las precipitaciones son el ascenso del aire y su enfriamiento, condensación del vapor de agua y formación de nubes, fuerte concentración de humedad y el crecimiento de las gotas de agua, donde las dos primeras se dan sin demasiada dificultad, sin embargo una vez formada la nube estas no siempre generan precipitaciones.

Por otro lado, la lluvia es un fenómeno meteorológico que según la Organización Meteorológica Mundial (OMM)³⁵ lo define como las partículas de gotas de agua líquida de diámetro variable entre 1 y 2 mm, alcanzando un máximo de 7mm. Si no alcanza la superficie terrestre no sería lluvia sino virga, y si el diámetro es menor será llovizna, esta es la forma más común de la precipitación, hasta el extremo de usarse los dos términos como sinónimos en buen número de ocasiones. Del mismo modo (Cuadrat et al, 2006)³⁶ la forman gotas, que proceden de la coalescencia de pequeñas moléculas, en las nubes del área intertropical, y de la nieve en su recorrido por las capas cálidas, en las nubes de latitudes medias y altas, lo que la caracteriza a la lluvia es que la constituye el número de días en que se presenta este fenómeno durante un mes determinado.

Cabe aclarar que cuando hablamos del término lluvia se refiere al fenómeno atmosférico, este es la caída de agua que se produce a partir de la condensación del vapor de agua que se encuentra dentro de las nubes y que, al volverse más pesado, cae por efecto de la gravedad hacia el suelo. Por otro lado la precipitación es la medida de la lluvia, llovizna, nieve o granizo, que tiene por objeto obtener toda la información posible sobre la cantidad de las mismas que cae en un periodo de tiempo determinado. También permiten obtener la distribución de las precipitaciones en el tiempo y el espacio, se la mide a través de un pluviómetro, el cual se calcula midiendo el agua que cae sobre un metro cuadrado de superficie durante 24 horas.

4.3.3 Los Factores Climáticos: para (Benavides et al, 2007)³⁷ El clima de la Tierra depende del equilibrio radiativo que está controlado por factores radiativos forzantes, por factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del sistema climático (atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antropósfera). La radiación solar es el combustible que pone en movimiento la máquina atmosférica y junto con la concentración atmosférica de algunos gases variables que ejercen un efecto invernadero (gases traza con actividad radiativa), de las nubes y de los aerosoles, son los factores forzantes del clima de mayor trascendencia. Estos agentes de forzamiento radiativo varían tanto de forma natural como por la actividad humana, produciendo alteraciones en el clima del planeta.

Por su parte, el (IDEAM, 2005)³⁸ afirma que los factores determinantes del clima se refieren a ciertas condiciones, en general físico-geográficas, que relativamente son constantes y no sufren cambios horarios, diurnos o anuales y tienen gran influencia en el clima por el papel que juegan en la transferencia de energía y calor. Entre los elementos

³⁴ CUADRAT& PITA; Climatología 4ª. Ed, 2006, op. cit., p 135

³⁵ OMM. Atlas internacional de nubes. Manual de observaciones de nubes y otros meteoros. 1993. Citado por: <<http://es.wikipedia.org/wiki/lluvia>>

³⁶ CUADRAT& PITA; Climatología 4ª. Ed, 2006, op. cit., p 143

³⁷ BENAVIDES et al (2007). Nota Técnica IDEAM, Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. p 2.

³⁸ IDEAM. Atlas Climatológico de Colombia. Parte I. op cit , p 3.

de mayor importancia que influyen en la distribución espacio-temporal de la precipitación se destacan la latitud, la altitud, el relieve y la distancia al mar; otros factores importantes que intervienen en las variaciones del clima son las corrientes marinas, la cobertura vegetal, los glaciares, los grandes lagos, los ríos y la actividad humana debido a las variaciones de la latitud y a las diferencias en la absorción de energía por la superficie terrestre, y se forman contrastes de temperatura y de presión atmosférica que dan el inicio al movimiento que redistribuye la energía (calor) y la masa (vapor de agua) en la atmósfera del planeta.

❖ **La Posición latitudinal:** Este factor es determinante para la comprensión de las condiciones climáticas de cualquier región del mundo. Para (Ayllon, 2003)³⁹, el ángulo de inclinación terrestre influye en la cantidad y en el ángulo en que la radiación solar llega a los dos hemisferios terrestres. A medida que la incidencia es más vertical (Ecuador) es mayor la cantidad de radiación recibida, cuando la incidencia es oblicua (polos), los rayos se distribuyen en una mayor superficie, y corresponde a menor cantidad de calor. En principio es de suponer que, debido a la posición ecuatorial de la cuenca del río Pasto esta no se verá muy afectada, pero si se analiza detenidamente los efectos causados por el cambio estacional se observa que la influencia ejercida por este cambio en las masas de aire y en las corrientes oceánicas del orden global terminan afectando considerablemente las características de la región, puesto que durante el verano austral, la ZCIT se desplaza un poco más hacia el sur dejando a la parte norte de la cuenca relativamente con una menor cantidad de lluvia. Durante el verano septentrional las condiciones son inversas ya que el desplazamiento que realiza la ZCIT más hacia el norte, deja una menor cantidad de lluvia en el sector sur de la cuenca.

❖ **La Altitud:** Los cambios en la altura afectan al clima de diversas formas, desde las temperaturas a las precipitaciones, a medida que la altura aumenta, la temperatura disminuye. Para Ayllon⁴⁰, esto sucede porque la atmósfera se calienta desde el terreno hacia arriba ya que la energía solar es radiada desde la superficie de la tierra; mientras más lejos te encuentres de la superficie, más frío será el lugar. Además, la presión atmosférica en lugares elevados es baja, lo que significa que las moléculas de aire se mueven más lentamente y provoca que las temperaturas disminuyan.

Por otro lado, (Gil y Olcina, 1997)⁴¹, define este decrecimiento de la temperatura con la altura como gradiente vertical de temperatura, definido como un cociente entre la variación de la temperatura y la variación de altura aproximadamente $6.5^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$. Cuando un volumen de aire asciende va disminuyendo su presión y por lo tanto se expande y enfría y si desciende se comprime y aumenta su temperatura, en cambio la distribución de la lluvia es similar en duración e intensidad prolongada.

❖ **El relieve:** En el caso de la cuenca del río Pasto, el relieve representa un elemento muy importante para poder comprender la distribución de la

³⁹ AYLLÓN, Teresa. Elementos de meteorología y climatología 2ª. Ed, 2003. 210 p.

⁴⁰ AYLLÓN; Teresa. Elementos de meteorología y climatología 2ª. Ed, 2003, op. cit., p 45.

⁴¹ OLCINA & CANTOS. Climatología general. 1997. op. cit., p 131

precipitación. La presencia de las cordilleras, al parecer, no solo facilita el establecimiento de regímenes bimodales en su interacción con la ZCIT franja a donde llegan las corrientes de aire cálido y húmedo (alisios del sudeste y del nordeste), provenientes de los grandes cinturones de alta presión, situados en la zona subtropical de los hemisferios norte y sur dando origen a la formación de grandes masas nubosas y abundantes lluvias, sino también la existencia de pequeños núcleos de mayor y menor precipitación⁴².

Estas particularidades tienen que ver con la distribución del relieve, debido a que representa una barrera natural para el desplazamiento de las masas de aire más húmedas que ascienden por las vertientes de las cordilleras. Estas condiciones de barlovento (expuesta a la acción del viento) y sotavento (protegidas del viento), efectos Föhn, fenómenos de chimenea que suben por los cañones, brisas valle - montaña y montaña – valle, convección diurna y ascenso orográfico forzado, son entre otros fenómenos los que mayor incidencia tienen en la cantidad de lluvia, así como en la dirección y velocidad de los vientos y en la humedad y temperatura de la masas de aire que circulan la región andina⁴³.

Es importante para el desarrollo de esta investigación además de los términos que anteriormente se describieron, entender otros que a su vez serán también de importancia. Ya que esta investigación se enfatizara en conocer el comportamiento de la precipitación en la cuenca del río pasto, es necesario que se describan términos como: variabilidad climática, anomalía climática, la zona de convergencia intertropical (ZCIT) y los fenómenos que mayor variabilidad interanual causan en la precipitación como son los fenómenos del niño y la niña – oscilación del sur.

4.3.4 La variabilidad climática: Montealegre⁴⁴ se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante periodos de tiempo relativamente cortos, durante un año en particular, se registran valores por encima o por debajo de lo normal. La normal climatológica o valor normal, se utiliza para definir y comparar el clima y generalmente representa el valor promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un periodo de por lo menos 30 años, la diferencia entre el valor registrado de la variable y su promedio se le conoce como anomalía. Por su parte, el (IDEAM, 2005)⁴⁵ especifica que en los diferentes años, los valores de las variables climatológicas (temperatura, precipitación, etc.) fluctúan por encima o por debajo de lo normal, el cual varía naturalmente en diferentes escalas de tiempo y espacio, dentro de sus fluctuaciones temporales, las siguientes se consideran las de mayor trascendencia en la determinación y modulación de procesos atmosféricos como la variabilidad estacional, intraestacional, interanual y la interdecadal.

⁴² IDEAM, El Macizo Colombiano y su área de influencia. Marzo , 1999.189p

⁴³ NARVÁEZ; Análisis de la lluvia mensual y su interacción con el relieve y la circulación local en sectores de baja precipitación de la zona andina colombiana , 2010, op. cit., p 9

⁴⁴ MONTEALEGRE, José. [on line]. Escalas de la Variabilidad Climática. Disponible en Internet: <http://www.rds.org.co/aa/img_upload/aea709feb9d6e6499a219fa83c2c5451/Escalas_de_la_variabilidad_climatica.pdf>

⁴⁵ IDEAM. Atlas Climatológico de Colombia. Parte I, 2005, op. cit., p 16

Por otro lado, la anomalía climática la define el (IDEAM, 2005)⁴⁶ como una medida que se utiliza en el valor promedio de una serie continua de una variable, durante un periodo de por lo menos 30 años, usada para describir la desviación del clima desde el punto de vista estadístico, es decir, la diferencia entre el valor del elemento climático en un período de tiempo determinado, por ejemplo un mes, con respecto al valor medio histórico o norma de la variable climática correspondiente durante el mismo lapso, en un lugar dado.

4.3.5 Zona de convergencia Intertropical (ZCIT): Es definida clásicamente como “una región cercana al ecuador de la convergencia de los vientos Alisios, ascenso de aire, baja presión atmosférica, convección profunda e intensa precipitación, definen las características de esta zona” (Poveda et al 2006)⁴⁷, este sistema climático, es uno de los controladores principales del ciclo anual de la precipitación como lo afirman los autores Poveda & Mesa, (1997)⁴⁸, León et al (2000)⁴⁹, que en la región tropical de Sur América y junto con otras características (la presencia de los Andes, las oscilaciones del Pacífico y el Atlántico, entre otros) determinan finalmente el ciclo anual de la precipitación. “La migración de la ZCIT controla a su vez la dinámica de los vientos alisios sobre los océanos y masas de tierra” (Poveda et al 2006)⁵⁰, pero además de esto intervienen diversos patrones de la circulación atmosférica local (relacionado con el condicionamiento del relieve sobre las masas de aire) y regional (en referencia a la influencia de la fuerza de Coriolis sobre los Alisios) que modifican el ciclo anual de la precipitación.

El desplazamiento latitudinal de la ZCIT depende de la ocurrencia de las estaciones en los hemisferios norte y sur, donde pueden verse estos efectos “con un retraso aproximado de dos meses” (León et al 2000,⁵¹ como lo argumenta Poveda et al (2006)⁵² durante el verano en el hemisferio sur la ZCIT está localizada sobre la cuenca del Amazonas, mientras que el desplazamiento hacia el norte ocurre en el verano boreal, este movimiento es descrito con mayor precisión por Pabón et al (2001)⁵³ el cual indica que el segmento del Pacífico de la ZCIT alcanza su posición más sur entre enero y febrero, mientras que de marzo a mayo se ubica entre los 2° y 7° de latitud norte, entre junio y agosto se encuentra ya entre 8° y 10° norte para posteriormente iniciar su desplazamiento hacia el sur en el mes de septiembre. Es debido a estas características que en el centro de Colombia se observa un ciclo anual bimodal con picos lluviosos (abril-mayo y octubre-noviembre) y dos secos (diciembre-febrero y junio-agosto), mientras que en lugares extremos de la oscilación de la ZCIT el ciclo anual es monomodal o unimodal.

⁴⁶ IDEAM. Atlas Climatológico de Colombia. Parte I, op. cit., p 4

⁴⁷ POVEDA Et al 2006, [on line]. Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and Southern Mesoamerica. Pag 5. Disponible en Internet: <<http://www.sciencedirect.com>>

⁴⁸ POVEDA & MESA, (1997). Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric Phenomena. Journal of Climate. Vol. 10, 2690-2702.

⁴⁹ LEÓN et al (Marzo , 2000), Circulación general del trópico y la Zona de Confluencia Intertropical en Colombia. Meteorología Colombiana. N° 1, 31-38.

⁵⁰ POVEDA et al, 2006, op. cit., p 4

⁵¹ LEÓN et al, 2000, op. cit. p. 37

⁵² POVEDA et al, 2006, op. cit. p.

⁵³ PABÓN et al.[on line]. El medio ambiente en Colombia. La atmósfera, el tiempo y el clima. Disponible en Internet: <<https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/000001/cap3-i.pdf>>

Si bien con lo descrito anteriormente se descubre la alta relevancia que tiene la ZCIT en el ciclo anual y semi-anual de la precipitación en el área de estudio, es también importante aclarar cómo se determina la importancia de este sistema dentro de escalas de tiempo más largas, en el caso particular de esta investigación la escala interanual, siendo en este caso que al presentarse las fases del ciclo ENOS los patrones normales del comportamiento de la ZCIT cambian, en función principalmente del debilitamiento o reforzamiento de los vientos Alisios y del aumento de la TSM en determinados sectores del Océano Pacífico, como lo argumentan León et al (2000)⁵⁴ la posición del sistema puede alcanzar posiciones tan al sur como los 5° de latitud sur durante El Niño, modificando así las volúmenes de precipitación percibidos en la región.

4.3.6 Los fenómenos El Niño y La Niña (Oscilación del sur): Es un fenómeno climático relacionado con el calentamiento del Pacífico oriental ecuatorial, el cual se manifiesta erráticamente cíclico. (Strahler, 1989)⁵⁵, habla de ciclos de entre tres y ocho años que consiste en realidad en la fase cálida del patrón climático del Pacífico ecuatorial denominado El Niño-Oscilación del Sur, donde la fase de enfriamiento recibe el nombre de La Niña. Este fenómeno, en sus manifestaciones más intensas, provoca estragos en la zona intertropical y ecuatorial debido a las intensas lluvias, afectando principalmente a la región costera del Pacífico de América del Sur.

Günther D. Roth (2003)⁵⁶ lo define como una irrupción ocasional de aguas superficiales cálidas, ubicadas en el océano Pacífico junto a la costa de los territorios de Perú y Ecuador, debido a inestabilidades en la presión atmosférica localizada entre las secciones Oriental y Occidental del océano Pacífico cercanas a la línea del Ecuador.

Según Montealegre (2014)⁵⁷ Dentro de la escala de variabilidad interanual en el océano Pacífico tropical son posibles tres condiciones: El Niño (calentamiento extremo), condiciones normales y La Niña (enfriamiento extremo). El Ciclo conocido como El Niño, La Niña - Oscilación del Sur ENOS, es la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico, en la escala interanual. El Niño y su fase opuesta La Niña, son las componentes oceánicas del ENOS y corresponden, en términos generales, a la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas (El Niño) o más frías (La Niña) que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. Estas alteraciones de la estructura térmica superficial y su superficial del océano están asociadas con el debilitamiento (fase cálida) o el fortalecimiento (fase fría) de los vientos alisios del Este y con el desplazamiento del núcleo de convección profunda del Oeste al Centro del océano Pacífico tropical, en condiciones El Niño con su permanencia e intensificación en el caso de La Niña.

Uno de los factores claves en la génesis de los fenómenos El Niño y La Niña es el debilitamiento (inclusive su inversión a la dirección Oeste) o el fortalecimiento de los vientos Alisios del Este. Dentro de los procesos que inducen este tipo de variaciones en el

⁵⁴ LEÓN et al, 2000, op. cit. p.

⁵⁵ Strahler, et al, 1989. op. cit. p.

⁵⁶ Günther D. Roth (2003). Meteorología. Formaciones nubosas y otros fenómenos meteorológicos.

⁵⁷ MONTEALEGRE, 2014. Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia.

viento de la zona tropical, es importante considerar las ondas de Madden & Julián, las cuales son propias de la escala intraestacional; la Oscilación Cuasibienal del viento zonal en la estratosfera inferior, típica de la escala interanual; la Oscilación Cuasibienal en la troposfera, conocida como TBO y eventualmente, las erupciones volcánicas (Pabón & Montealegre, 2013)⁵⁸. Adicionalmente es importante mencionar que en el sistema climático ocurren procesos en la escala interdecadal (decenios) que posiblemente generan variabilidad en las condiciones asociadas a la génesis y desarrollo de los fenómenos El Niño y La Niña.

Para finalizar (OPS, 2000)⁵⁹. En definitiva, el fenómeno de El Niño y La Niña son parte de un ciclo de interacción entre el océano y la atmósfera que se presenta en el Océano Pacífico (ciclo o fenómeno ENOS) y consiste en el aumento o disminución de la TSM, lo cual repercute en la atmósfera que está sobre ésta, generando cambios en los patrones “normales” de circulación de vientos, en la distribución de las precipitaciones, en la temperatura del aire y en otras variables climatológicas en lugares remotos del mundo, interviniendo en toda el área de influencia directa del océano Pacífico

⁵⁸ Pabón & Montealegre, 2000. Meteorología Colombiana. Nº 2.

⁵⁹ OPS, 2000. [on line]. Crónica de desastres: Fenómeno El Niño . Disponible en Internet: <
<http://www.paho.org/spanish/ped/EINino.htm>>

5. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos de la investigación, se estableció un diseño metodológico que está estructurado en cuatro fases: la revisión y análisis de bibliografía especializada; la evaluación, ajuste y procesamiento de los datos de precipitación; la generación de mapas y gráficos mensuales e interanuales de precipitación; y finalmente, el planteamiento de las hipótesis explicativas acerca de la distribución espacio temporal de la lluvia para el área de estudio. Las características y procesos llevados a cabo en cada una de estas fases se describen a continuación.

5.1 FASE 1. ADQUISICIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA Y DATOS DE PRECIPITACIÓN

En esta fase del proyecto estuvo encaminada a desarrollar un marco teórico referencial lo suficientemente concreto para entender lo mejor posible los fenómenos que se abordaron a lo largo de la investigación, como es la ZCIT, el Relieve, el ciclo ENOS y otros elementos y factores que interactúan en el área de estudio. Además de esto se obtuvieron, en esta fase, las series históricas el cual se adquirieron por medio del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), a través del Grupo de Investigación en Geografía Física y Problemas Ambientales (TERRA).

5.1.1 Revisión Bibliográfica: La primera actividad desarrollada fue la revisión de fuentes bibliográficas la cual se realizó con el fin de estructurar un marco teórico referencial amplio y específico sobre las diferentes variables en el área de estudio, además esto permitió un conocimiento más profundo sobre los procesos climáticos de orden local que pueden atenuar o acentuar sobre la cuenca.

Al mismo tiempo, se revisaron estudios realizados por diferentes entidades gubernamentales y no gubernamentales, de orden internacional y nacional, destacándose el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que suministra la información necesaria para desarrollar cualquier estudio de climatología a nivel nacional. Adicionalmente a esto se analizaron documentos de diferentes autores que tratan el tema desde diferentes puntos de vista, para obtener así una visión más amplia de las conceptualizaciones que toman los fenómenos, dependiendo de los efectos que causan sobre los diferentes componentes del espacio. Esta revisión bibliográfica permitió el conocimiento de algunas referencias y conceptos de autores que posteriormente facilitaron la incorporación al proceso de análisis de la información.

5.1.2 Adquisición y selección de series históricas: Para esta actividad, se consultó el catálogo del IDEAM con el propósito de identificar los tipos de estaciones climatológicas, meteorológicas, sinópticas entre otras, que probablemente se utilizarían para solicitar los datos históricos de la precipitación para el área de estudio.

Por otro lado, una vez realizado la selección previa de las estaciones y la ubicación de estas, se estableció un contacto directo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales (IDEAM), para la obtención de la información meteorológica para cuenca.

Por otra parte, el total de las estaciones solicitadas al IDEAM identificadas en la tabla 2, el instituto envió la totalidad de las series históricas solicitadas 24 en total, con lo cual se dio inicio al proceso de filtrado para determinar con cuantas se desarrollarían los procesos siguientes de la investigación.

Tabla 2. Estaciones solicitadas para el estudio

Tipo de Estación	Nº de Estaciones	Tipo de Parámetro
Pluviométricas y Pluviográficas	13	Precipitación total mensual
Climatológica Ordinaria y Principal	6	Precipitación total mensual
Sinópticas Principal y Suplementaria	1	Precipitación total mensual
Meteorológica Especial	2	Precipitación total mensual
Agrometeorológica	2	Precipitación total mensual
Total	24	

5.2 FASE 2. SISTEMATIZACIÓN Y AJUSTE DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.

Durante esta fase se realizaron varios procesos estadísticos con las series históricas, esto con el fin de obtener la mayor información posible de las mismas, utilizando diferentes herramientas que nos proporcionaron una visión más amplia y dinámica para el desarrollo de la investigación

5.2.1 Sistematización de series históricas: En esta actividad, es de importancia determinar cuáles estaciones se podrían utilizar para el análisis de la distribución espacial, teniendo en cuenta lo anterior, se efectuó el cambio de formato de las series históricas (generalmente de tipo .dat o .txt) a un formato más manejable y confiable desde el punto de vista estadístico, como es el caso del programa Microsoft Office Excel. Este proceso se hizo con la herramienta de “Importación de Datos” que hace compatibles los archivos .txt (block de notas) y .xlsx (Microsoft Office Excel). En esta actividad se realizó un primer filtro basado en la cantidad de datos existentes en cada una de las series históricas, y se eliminaron 9 de las cuales no se logró generar datos debido a vacíos de información muy grandes.

Otra actividad que se desarrolló dentro de esta fase, fue el tratamiento estadístico de las series históricas, la cual se verificó los datos contenidos en las series para comprobar su confiabilidad y coherencia y homogeneizar los datos para permitir la graficación y mapificación de la información. Este procedimiento se realizó por medio del programa estadístico TSW, el cual estima y pronostica datos a partir de modelos de regresión en series de tiempo identificando tendencias, outliers (valores que se alejan demasiado del comportamiento normal de una serie estadística) e información faltante, los cuales se encuentran de manera frecuente en los datos de tipo climatológico.

5.2.2. Diseño y elaboración de la cartografía y mapa base. Para la elaboración de las curvas de nivel del área de estudio, se realizó mediante un tratamiento y extracción de la información referida, a partir de un Modelo Digital de Terreno DEM (por sus siglas en

inglés) usando aplicaciones SIG (Sistemas de Información Geográfica). Los datos, fuente para el proceso, corresponden al *DEM - SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)* de 90 m de resolución, generado por la *National Aeronautics and Spaces Administration (NASA)* de los Estados Unidos en el año 2000, y disponible para público en Internet⁶⁰.

Por otro lado, la información sobre la ubicación de centros poblados, límites, drenaje, vías y toponimia, se utilizó la cartografía base generada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1:100.000, para delimitar la cuenca dentro de los municipios que abarca esta zona en el departamento de Nariño.

Una vez obtenidos estos insumos, se procedió a generar el mapa base, mediante el software ArcGis 10.3, donde se realizaron todos los procesos cartográficos para la elaboración de la cartografía base final, y para ubicar las estaciones hidrometeorológicas 4 por dentro y 11 alrededor de la cuenca, con el fin de eliminar el efecto borde que genera vacíos de información.

Otra actividad que se desarrolló en esta fase, es la elaboración de los perfiles, mediante el programa ArcGis, se trazaron unas líneas atravesando diferentes partes de la cuenca, para esto se utilizó las curvas de nivel que se generaron mediante el DEM para el área de estudio, el cual nos permite establecer las diferencias de altitud, que se presentan a lo largo de los transectos. De esta manera se procedió a la realización del mapa de los perfiles topográficos para analizar la distribución espacio –temporal de la precipitación.

5.3 FASE 3. GENERACIÓN Y ANÁLISIS DE GRÁFICOS Y MAPAS DE PRECIPITACIÓN.

En esta etapa del proceso investigativo, se generan y analizan los gráficos y mapas necesarios para comprender el comportamiento espacio - temporal que se observa en la precipitación del área de estudio.

5.3.1 Generación y análisis de datos: En esta actividad, una vez se revisaron los datos de precipitación, se elaboró el gráfico que facilitaría llevar a cabo el análisis de la variación temporal de los dos elementos climáticos. Este gráfico se elaboró en el programa Microsoft Office Excel, el cual representa el comportamiento mensual de la precipitación para el área de estudio. Determinando así la existencia y la duración de los periodos secos y lluviosos dependiendo de su posición geográfica.

Como segunda actividad, se realizó el gráfico del comportamiento interanual de la precipitación, utilizando los valores anuales totales registrados en las series históricas identificando las oscilaciones que se presentan en el área de estudio, esto con el fin de establecer una línea de base del comportamiento de la precipitación en el periodo 1987 - 2012, a partir de esto se referenciaron los registros representativamente altos y bajos para posteriormente relacionarlos con los años de ocurrencia de los fenómenos de El Niño y La Niña.

⁶⁰ El material en mención se encuentra disponible en internet en la siguiente página web <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version1/SRTM30/>. La documentación detallada puede ser consultada en la página <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtmBibliography.html>.

Como tercera actividad, se elaboraron gráficos de anomalías absolutas de precipitación de las series históricas, identificando las oscilaciones de esta variable en cada uno de los meses afectados por dichos fenómenos.

5.3.2 Generación de mapas de isoyetas: Una vez obtenido todos los insumos que se utilizaron en la fase de procesamiento y ajuste de la información pluviométrica, se generó la cartografía temática (Isoyetas), para el área de estudio. Para esto se utilizó el programa SURFER versión 10.00 (Golden Software Inc). A través de este programa se generaron, un mapa de isoyetas anuales y doce mapas de isoyetas mensuales para la cuenca del río Pasto, con el fin de ilustrar los patrones de distribución espacio-temporal de la precipitación.

Para generarlos se diseñó una hoja de cálculo en la cual se identificó a cada estación con el código IDEAM, el nombre, las coordenadas geográficas (latitud y longitud) y los valores de precipitación a nivel mensual y anual. Los mapas temáticos de isoyetas fueron superpuestos sobre el mapa topográfico generado con el DEM y la cartografía base del IGAC. De esta forma, la cuenca cuenta con doce mapas temáticos de precipitación mensual y uno anual, material con el cual se podría abordar el último objetivo de la investigación que consistió en la interpretación de estos mapas, y relacionarlos con la influencia del relieve.

5.4 FASE 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En esta fase se desarrollaron los procesos centrales de la investigación, las cuales incluye las siguientes actividades: planteamiento de la hipótesis explicativa sobre la distribución espacial y temporal de la precipitación en el periodo de 1987 - 2012; el análisis de variables climatológicas complementarias y la conformación del documento final.

Así mismo, las hipótesis y los modelos gráficos que explican la distribución espacial de la precipitación en el área de estudio y su relación con la influencia del relieve, se tuvo en cuenta los dos principales insumos de información producto de esta investigación: los mapas de isoyetas y los gráficos mensuales e interanuales de precipitación.

A partir de estos productos, se realizó primero un análisis de los gráficos de precipitación mensual e interanual correspondientes a las estaciones localizadas en el área de estudio. Como segunda actividad se identificaron los núcleos de mayor y menor precipitación y cómo éstos varían a lo largo del año. Luego de identificar dichos núcleos, se hizo un análisis del comportamiento de esta variable en relación con los diferentes factores geográficos para la zona de estudio.

Por otra parte, se llevó a cabo un análisis de los modelos teóricos (perfiles o mapas temáticos) que explican la interacción entre la precipitación y la influencia del relieve, con el propósito de establecer en qué casos, este desempeña un papel significativo en la variación de la cantidad de pluviosidad caída en la cuenca.

Finalmente, para complementar todos los insumos finales y sus correspondientes hipótesis explicativas, se llevó a cabo un análisis general sobre la interacción de la

precipitación y los diferentes factores climáticos de carácter regional y global. De esta manera, se logra contar con un documento que permite acercarse al conocimiento de la climatología de la precipitación a nivel regional y de cómo el relieve influye en el comportamiento espacial de la lluvia en el área de estudio; con lo cual se dio por terminado el desarrollo de este proyecto.

Como resultado de toda esta investigación, se obtuvo un documento técnico consolidado, con toda la información consignada y complementado con el mapa topográfico y los mapas temáticos para la cuenca del río Pasto.

6. VARIACIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO PASTO

En este capítulo se desarrolla la descripción del comportamiento anual de la precipitación, dentro del área de estudio se consideraron 15 estaciones, Tabla 3. Al mismo tiempo, para realizar el análisis temporal se utilizaron las estaciones de Aeropuerto Antonio Nariño, Obonuco, Nariño y Botana, para abordar en que sectores de la cuenca presenta volúmenes de mayor y menor pluviosidad, tomando como referencia el valor promedio que se obtiene de los 25 años comprendidos entre 1987 y 2012,.

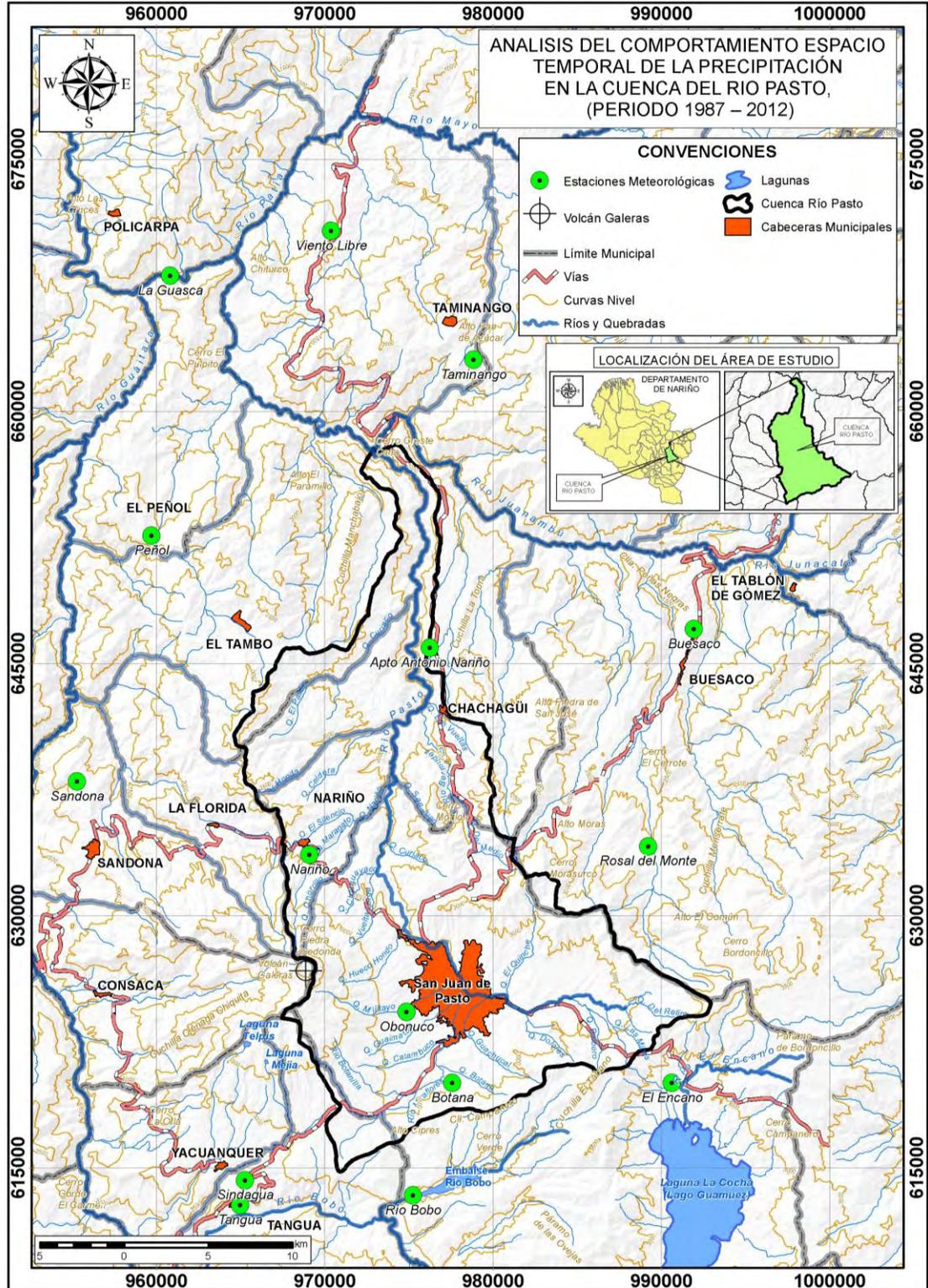
Tabla 3. Estaciones de referencia para el área de estudio.

Código	Nombre	Corriente	Latitud	Longitud	Altitud
52045020	Apto Antonio Nariño	Pasto	1°23'38.70"N	77°17'27.10"W	1796
52055040	Botana	AY Botanilla	1°09'36.00"N	77°16'43.70"W	2820
52045010	Obonuco	Pasto	1°11'53.60"N	77°18'11.10"W	2710
52040070	Nariño	Pasto	1°16'58.00"N	77°21'18.00"W	2590
47015100	El Encano	Guamues	1°9'35.8"N	77°9'41.299"W	2830
52050010	Peñol	Guáitara	1°27'16"N	77°26'21.999"W	1620
52010140	Guascas	Patía	1°35'40"N	77°25'45.999"W	500
52050060	Río bobo	Tellez	1°5'58.2"N	77°17'59.2"W	2987
52040060	Rosal del Monte	Pasto	1°17'14.3"N	77°10'26.6"W	2576
52050040	Sandoná	Guáitara	1°19'20.1"N	77°28'45.099"W	2000
52055090	Sindagua	Guáitara	1°6'27.3"N	77°23'21.699"W	2800
52050080	Tangua	Tellez	1°5'39"N	77°23'31.099"W	2420
52035020	Viento libre	Mayo	1°37'6.6"N	77°20'36.999"W	1005
52045040	Taminango	Juanambú	1°32'57.001"N	77°16'2.999"W	1875
52040040	Buesaco	Juanambú	1°24'15.001"N	77°8'58.999"W	2020

Datos: Series históricas (IDEAM, 2012)

De esta manera, se llevó a cabo la ubicación de las estaciones como se indica en la figura 2.

Figura 2. Mapa de localización de las estaciones en el área de estudio.



Fuente:

Así mismo, con los datos obtenidos de la tabla 3, se obtienen los valores promedio mensuales de la precipitación de las 4 estaciones, con el fin de identificar el comportamiento (bimodal o monomodal) que se presenta en el área de estudio, tabla 4. De la misma forma, se observan los meses con mayor y menor pluviosidad, generando de esta manera la posibilidad de distinguir unos meses más lluviosos (los de máxima acumulación) y otros secos (menor acumulación de precipitación), en la cuenca.

Tabla 4. Promedios medios mensuales de precipitación para el área de estudio.

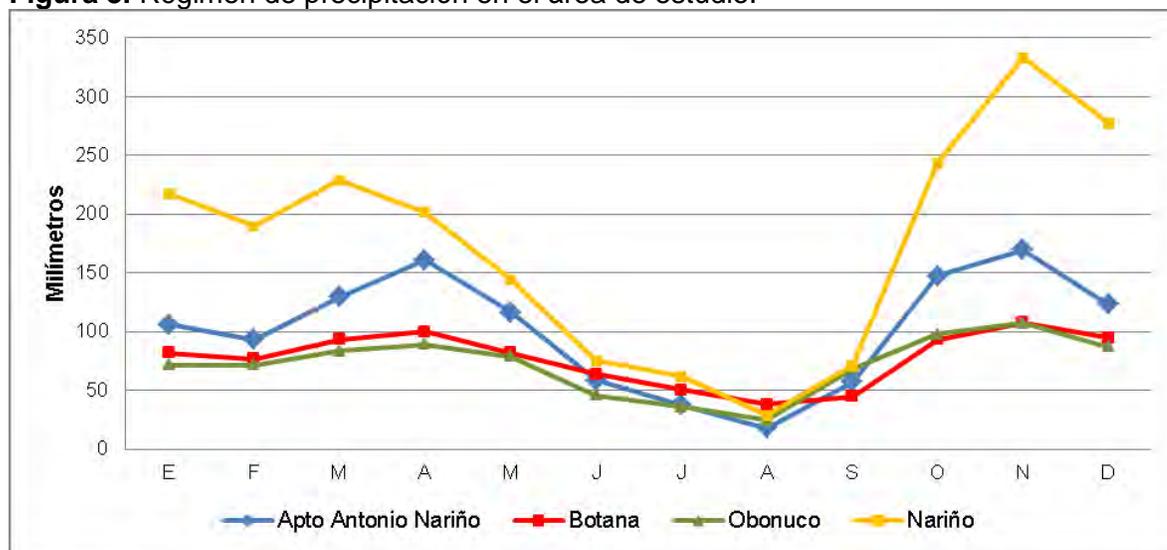
Nombres	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Apto Antonio Nariño	106.0	93.0	129.5	160.6	116.5	58.6	37.5	17.7	57.3	147.3	169.4	123.0	1216.4
Botana	81.9	76.5	93.0	100.0	81.9	63.9	50.6	37.8	44.9	93.4	107.7	94.8	926.4
Obonuco	71.8	71.7	83.5	89.1	78.6	45.7	35.8	24.4	68.6	97.7	107.3	87.2	861.5
Nariño	217.8	189.6	229.1	201.4	144.5	74.9	61.6	28.9	71.1	243.2	333.3	277.5	2073.0

Datos: Series históricas (IDEAM, 2012)

6.1 VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN

Teniendo en cuenta, los datos anteriores, tabla 4, se realiza el grafico de la precipitación de las cuatro estaciones para describir el régimen que se presenta en la zona de estudio. A través de los cuales se desarrollará una descripción detallada de la variación mensual de la precipitación. Así mismo, se tendrá en cuenta las características más relevantes en cuanto a duración e intensidad de los períodos secos y lluviosos y su ubicación a lo largo del año.

Figura 3. Régimen de precipitación en el área de estudio.



Datos: Series históricas IDEAM, 2012

Los datos que se emplearon para efectuar el análisis de la precipitación en la cuenca del río Pasto obtenidos por la red de estaciones del IDEAM, se evidencia un régimen de distribución bimodal, que corresponde a dos periodos secos y dos lluviosos bien diferenciados, sin embargo estos no poseen la misma intensidad como se observa en la

figura 3. Para (Hurtado, 2000)⁶¹, estas condiciones se presentan básicamente por factores orográficos y circulaciones locales.

El primer periodo lluvioso dentro de la cuenca del río Pasto se presenta entre los meses de marzo, abril y mayo, siendo marzo el mes más lluvioso con valores que oscilan entre 130 y 230 mm. El segundo periodo lluvioso se desarrolla entre los meses de octubre, noviembre y diciembre. A diferencia del primero, en este período de fin de año la cantidad de precipitación caída en cada mes es muy similar, con valores que fluctúan entre los 100 a 330 mm.

Este comportamiento concuerda con el descrito por (Rangel, 1996)⁶², respecto a la clasificación de las temporadas secas y húmedas por regiones naturales, donde afirma que para la zona andina sur se caracteriza por presentar un régimen bimodal en sus diferentes regiones, por el cual los periodos lluviosos y secos se presentan en los meses anteriormente mencionados, mientras que los períodos secos se desarrollan entre enero y febrero y entre junio y septiembre. Dentro de este patrón se agrupan las estaciones de Aeropuerto Antonio Nariño, Obonuco, Nariño y Botana, ubicadas dentro del área de estudio.

Por su parte, la Caracterización Climática Macizo del Colombiano⁶³, opina que se debe a la posición que toma de la zona de convergencia intertropical sobre el hemisferio norte, el cual es un movimiento lento de grandes masas de aire que alimenta el cinturón de bajas presiones del ecuador. El mismo autor afirma, que la conexión entre el comportamiento que presenta la precipitación y la influencia que tienen los vientos alisios procedentes del noreste (NE) y del sureste (SE), y los grandes cinturones de alta presión, situados en la zona subtropical de los hemisferios norte y sur dando origen a la formación de grandes sistemas nubosos, registrando así los más altos porcentajes de lluvias durante el año.

Por otro lado, en los dos periodos lluviosos la mayor cantidad de precipitación que se registra en la cuenca, es para los meses de abril y noviembre, el cual está determinada por los sistemas de nubosidad asociados a la circulación local y la influencia que tienen los cañones de los ríos Pasto y Guátara y a su vez, está condicionada por la altitud, la orientación de las montañas y la actividad convectiva que se presenta en ese sector de la cuenca, registrando valores que oscilan entre los 550 a 720 mm. Siendo la estación de nariño la que presenta la mayor la cantidad pluviosidad para toda el área con valores que oscilan los 200 a 330 mm, descargando toda la humedad sobre la parte noroccidental del volcán Galeras.

Así mismo, al observar la figura 3, el primer periodo seco, corresponde a los meses de enero y febrero presentan una bien definida tendencia al crecimiento de la pluviosidad en todas las estaciones, mientras que el segundo periodo de mitad de año, permite observar una apreciable tendencia al decrecimiento en las cantidades precipitadas en toda el área de la cuenca.

⁶¹ HURTADO, Gonzalo. "La precipitación en Colombia". IDEAM, 2000. p. 39.

⁶² RANGEL. Ernesto. Tendencia Observada en los regímenes de precipitación de las distintas regiones naturales de Colombia. IDEAM, 1996. p. 17.

⁶³ Caracterización Climática del Macizo Colombiano. IDEAM, 1999. p. 18.

De igual manera, el período seco de mitad de año entre junio a septiembre es más fuerte y largo que el presentado a principios de año. Según (Hurtado, 2000), citado por (Guzmán et al, 2014)⁶⁴ aseguran que estas características se presentan al sur de los 2° de latitud norte siendo un comportamiento contrario al que se presenta en el resto de la región andina donde el período más seco tiende a desarrollarse entre diciembre y febrero. Los mismos autores señalan por otro lado, que observando la ocurrencia de los picos máximos, puede detectarse el efecto del movimiento de la zona de convergencia intertropical cuando durante el año atraviesa el país de sur a norte y viceversa”. De hecho, el primer período lluvioso se presenta por el desplazamiento de la ZCIT desde el sur hacia el norte, mientras que el segundo período lluvioso es consecuencia del desplazamiento de la ZCIT desde el norte hacia el sur.

Es notable entonces, que la ocurrencia de la precipitación en la cuenca del río Pasto, sea producto del aporte de agua que realiza la ZCIT, y que la fuerte disminución de la lluvia entre junio y septiembre está relacionada con la posición septentrional de la ZCIT sobre el hemisferio norte, esta disminución se presenta en toda el área, siendo el mes de agosto el que registra los menores valores de pluviosidad que oscilan entre los 17 y 30 mm. Esto se debe por la conexión que existe entre el comportamiento de la lluvia y los vientos alisios del sureste los cuales persisten durante estos meses con una mayor velocidad, la cual contribuye con el aumento en el efecto secante que producen estos vientos.

Así mismo, la influencia orográfica y la influencia de masas de aire ascendentes desde el cañón del río Guátara es la causante de la desviación hacia el norte de los vientos alisios que llegan al valle de Atriz (Pasto) procedentes del sureste, los cuales predominan en el área de estudio. Para el mes de agosto estos vientos persisten con una mayor intensidad lo que ocasiona en gran medida la disminución de la precipitación en la mayor parte de la cuenca. Un poco más hacia el norte en el cañón del río Pasto, la mayor prevalencia de este flujo básico de los alisios (este y sureste) son generadas por el condicionamiento topográfico del cañón del río Pasto, que se encuentra alineado en dirección sur – norte, lo cual facilita principalmente durante el día, predominen corrientes de aire cálidas y secas que ascienden por este corredor desde la parte baja del río hasta las partes altas y predominan sobre el periodo seco de mitad de año. Lo anterior permite concluir que la circulación local condicionada por el relieve especialmente la que se presenta durante el día (vientos anabáticos) es una constante en esta zona, exceptuando la mitad de año cuando los Alisios cobran mayor vigor debido al desplazamiento de la ZCIT hacia el norte de la línea ecuatorial. No obstante, exceptuando noviembre, los Alisios están presentes durante todo el año, si bien, con menor predominancia.

Por lo tanto, las condiciones para (Oster, 1979) , y (Bernal et al, 1989) , de la precipitación total anual en el suroccidente colombiano, está asociada a factores orográficos, la altitud, circulaciones locales y el cual se mueven los flujos de aire cargados de humedad, diferenciándose de esta manera climas de barlovento y sotavento, que influyen en la presencia de fenómenos de Föhn y “sombra” de precipitación.

⁶⁴ HURTADO, Gonzalo. “La precipitación en Colombia”. IDEAM, 2000. Citado por Guzmán D.; Ruíz, J. F.; Cadena M. “Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP)”. IDEAM, 2014. p. 15.

Estas condiciones son las que generan los mayores y menores valores de precipitación en toda la cuenca del río Pasto, con un máximo registro en la estación de Nariño con 2073 mm y el menor en Obonuco con 861.5 mm, y con alturas que varían entre los 2710 m.s.n.m hasta los 1796 m.s.n.m en el área de estudio.

6.2 VARIACIÓN INTERANUAL DE LA PRECIPITACIÓN ANTE LA OCURRENCIA DEL FENÓMENO EL NIÑO Y LA NIÑA

En términos generales se puede decir que la distribución de la precipitación en Colombia está determinada principalmente por el desplazamiento latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), generando diferencias en cantidades acumuladas y en los periodos de tiempo en que estas se presentan a lo largo y ancho del territorio nacional, siendo así que existen zonas en las que los regímenes son de tipo monomodal (típicos de la región pacífica y amazónica) y otros de tipo bimodal (presentes en la región andina), siendo que existen regiones con patrones de comportamiento que tienen características muy particulares. De la misma manera es importante aclarar que “Las cantidades de precipitación se modifican por la ocurrencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y otros componentes de la variabilidad climática de la región tropical ecuatorial y por la presencia de la cordillera de los Andes, la cual genera lluvias orográficas convectivas, por efecto de la altitud y la orientación de las montañas”⁶⁵, observándose así que el área de estudio está inmiscuida dentro de las características descritas anteriormente.

En general se observa que el ciclo ENOS condiciona el comportamiento de muchas variables climatológicas, pero como lo establecen Montealegre & Pabón (2000) “este ciclo afecta de manera importante la temperatura del aire y la precipitación en Colombia” (p. 17), Poveda (2004) indica que “durante El Niño se presenta una disminución en la precipitación” (p. 205) pero aclara que todos los fenómenos de El Niño son diferentes y es por esto que los impactos sobre esta variable son, de igual manera, diferentes.

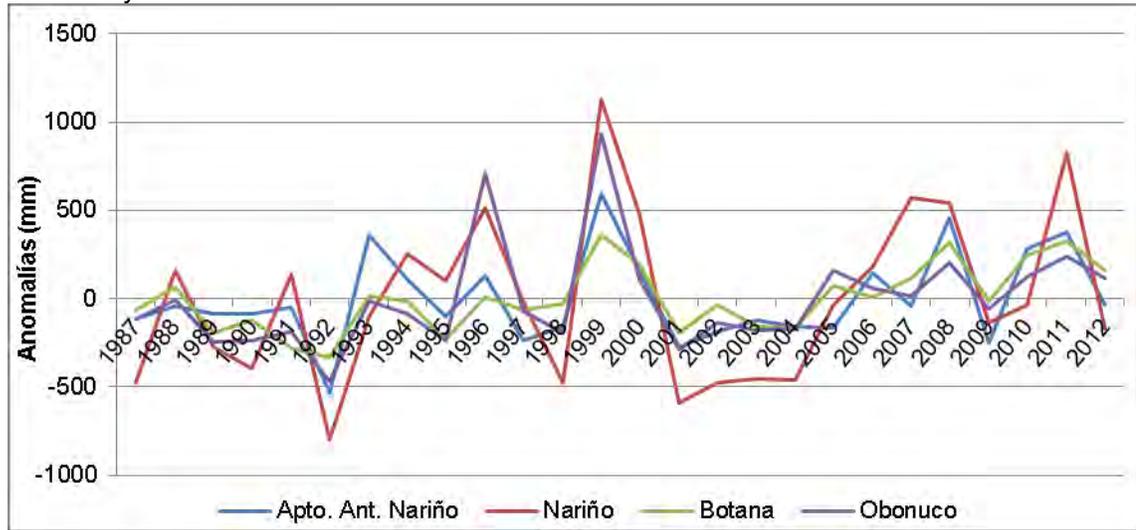
Para Montealegre, *et al* (2000)⁶⁶ el análisis de la información histórica, indica que las alteraciones que se producen en el régimen de lluvias en Colombia son causadas, en parte, por la variabilidad climática interanual relacionada con el ciclo ENOS, el cual ha sido causa de sequías extremas y lluvias extraordinarias en diferentes regiones geográficas del planeta, mediante el análisis de dicha información, se ha establecido que durante los eventos cálidos del ciclo ENOS (fenómeno de El Niño), se presenta un déficit generalizado de las lluvias en el área de estudio, mientras que durante los eventos fríos (La Niña) se presenta un aumento considerable de la misma variable (figura 5). “No obstante, el déficit de lluvias que se presenta en la región andina, no necesariamente indica que haya ausencia total de las mismas durante el desarrollo del fenómeno, en general, la afectación en el régimen de las lluvias en cada fase no sigue un patrón común, ni ha sido el mismo durante todos los eventos presentados. Cada evento muestra alteraciones más marcadas en diferentes zonas”⁶⁷, como se indica a continuación.

⁶⁵ VELÁSQUEZ F., S.; JARAMILLO R., A. Redistribución de la lluvia en diferentes coberturas vegetales de la zona cafetera central de Colombia. Revista Cenicafe, 60(2): 148 – 160. 2009.

⁶⁶ Montealegre J., & J. Pabon. 2000: La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. Meteorol. Colomb. 2:7-21. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

⁶⁷ MONTEALEGRE B. José E. Efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. IDEAM 2007.

Figura 4. Precipitación interanual de la cuenca del río Pasto, en presencia del fenómeno del Niño y La Niña.



Datos: Series históricas IDEAM, 2012

De los siete fenómenos de El Niño identificados para el periodo de estudio de la presente investigación (1987-2012), se observa uno intenso, dos moderados y dos débiles (tabla 5), con lo cual se opta por definir las características más importantes de los dos fenómenos de mayor relevancia, siendo el primero el de 1997-1998 y el segundo el de 1991-1992 (dando mayor importancia a este sobre el de 2009-2010 debido a los fuertes impactos generados sobre las condiciones sociales y económicas de Colombia en dicho periodo), en los cuales se presenta un comportamiento que es representativo para lo ocurrido ante un evento de El Niño.

Tabla 5. Fenómenos de El Niño.

Año	Período de desarrollo	Duración (meses)
1986-1988 ⁶⁸	Agosto 1986 – Marzo de 1988	19
1991-1992	Febrero 1991 – Junio 1992	17
1994-1995	Septiembre 1994 – Marzo 1995	7
1997-1998	Mayo 1997 – Abril 1998	12
2002-2003	Mayo 2002 – Febrero 2003	10
2004-2005	Julio 2004 – Enero 2005	7
2009-2010	Mayo 2009 – Mayo 2010	13

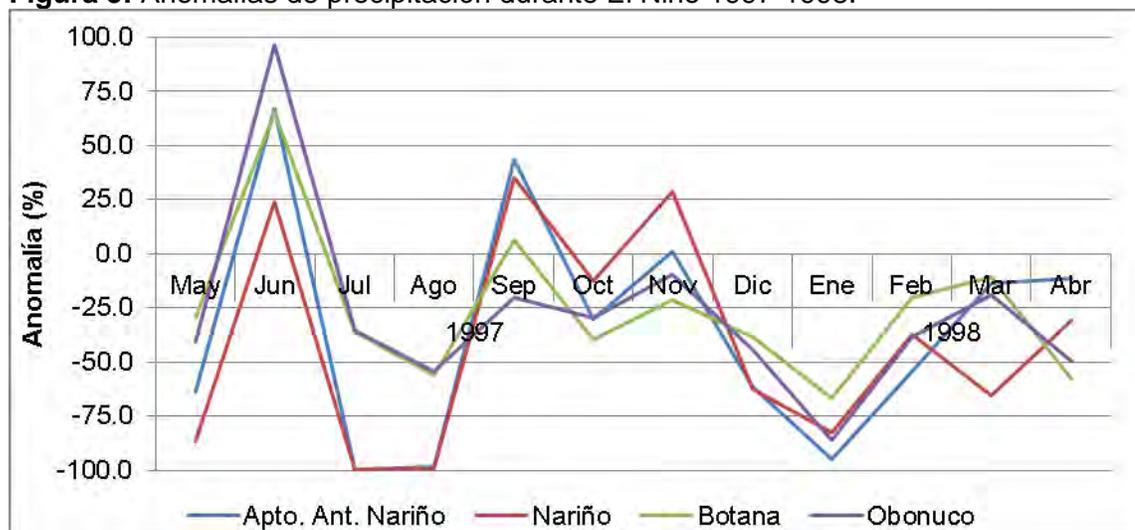
6.2.1 Fenómeno de El Niño 1997-1998: este fenómeno se extiende entre el mes de mayo de 1997 hasta el mes de abril de 1998, influyendo así sobre dos periodos secos, el de mitad de año en 1997 y el de inicio de 1998, y en dos periodos lluviosos, final de año

⁶⁸ De este fenómeno solo se contabiliza, para esta investigación, los últimos catorce meses de los dos años siguientes, debido al periodo de tiempo que abarca la investigación.

de 1997 y los meses de marzo y abril de 1998 (figura 5). Los efectos más notorios durante el desarrollo de este fenómeno se observan en los meses de julio y agosto, presentándose anomalías de hasta -100%, mientras que la segunda fase de anomalías más fuertes se dan entre los meses de diciembre y febrero con déficits entre -40% y -95%, siendo así que los periodos secos son los más afectados durante éste fenómeno.

Por su parte, y hablando ahora de los periodos lluviosos, se observan anomalías negativas de menor intensidad intercaladas con anomalías positivas, en los meses de octubre y noviembre de 1997 las anomalías oscilan en valores cercanos al comportamiento histórico, llegando las positivas hasta 40% y negativas que no superan déficits de -30%. Durante los meses de marzo y abril, a diferencia del periodo lluvioso anteriormente descrito, las anomalías de precipitación son únicamente negativas y se mantienen en un rango menor al -30%, identificándose en algunos casos valores de hasta -60%.

Figura 5: Anomalías de precipitación durante El Niño 1997-1998.



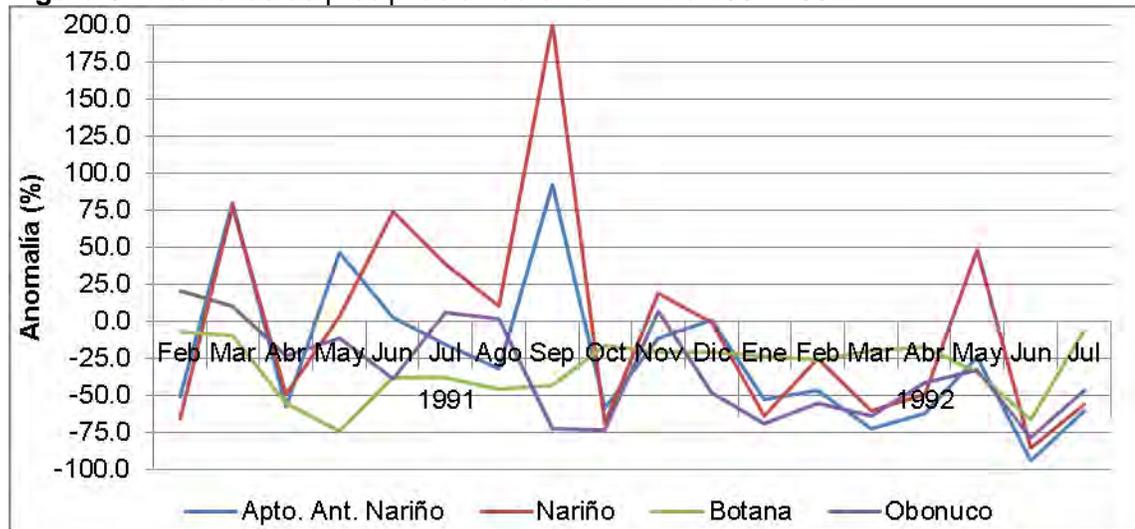
Las variaciones de precipitación registradas durante este fenómeno hacen alusión a los efectos que en las condiciones atmosféricas “normales” generan los cambios de la circulación en el Pacífico, siendo posible en este caso identificar una disminución en la intensidad de los vientos Alisios que repercuten en una menor intensidad de los procesos convectivos generados en la ZCIT, disminuyendo así los registros de precipitación, observado esto principalmente en los meses de marzo y abril de 1992, históricamente lluviosos. Además de esto se ve una clara influencia de este fenómeno de El Niño en los procesos locales de circulación de vientos, que son los responsables de generar la poca lluvia que se registra en los periodos secos (junio-agosto y enero-febrero), siendo que la acumulación durante dichos periodos disminuye de manera notoria, llegando en algunos casos a registrar 0 mm en algunos meses.

6.2.2 Fenómeno de El Niño 1991-1992: este fenómeno se extiende entre los meses de febrero de 1991 hasta julio de 1992 afectando de esta manera los dos periodos lluviosos del año 1991 y el primero de 1992, en cuanto a los periodos secos la influencia se centra sobre el de mitad del año 1991 y principio de 1992 (figura 6). En términos generales se

identifica que durante la primera mitad del evento (febrero-octubre de 1991), se presentan anomalías positivas y negativas, siendo mayoría las negativas que predominan en tres de las cuatro estaciones del área de estudio, con valores que oscilan entre -10% y -75%, siendo la excepción la estación Nariño, en la que predominan los valores positivos, entre 10% y 70% de aumento frente al comportamiento normal, llegando incluso hasta 200%. Estas variaciones de la precipitación permiten identificar que el periodo lluvioso marzo-mayo de 1991 presenta un aumento frente a los registros históricos, mientras que en el periodo seco de junio-agosto del mismo año, se acentúan las características secas excepto en la estación Nariño, por su parte el segundo periodo lluvioso de 1991 se mantiene con registros cercanos al promedio histórico.

En la segunda parte de este fenómeno se identifica una mayoría de anomalías negativas, siendo así que el periodo seco de inicio de año en 1992 presenta déficits de precipitación alrededor de -50%, anomalías que se mantienen hasta mitad de año afectando así el periodo lluvioso marzo-mayo de 1992, cambiando las características históricas de dicho periodo de tiempo frente al comportamiento histórico.

Figura 6. Anomalías de precipitación durante El Niño 1991-1992.



Durante este fenómeno se evidencian diferentes oscilaciones en el comportamiento de la precipitación, siendo que en la primera parte del mismo el comportamiento histórico de esta variable se ve afectado en cuanto a acumulación mas no en cuanto a variación frente al comportamiento histórico, es decir, los periodos secos siguen siendo secos y los lluviosos se mantienen lluviosos, acentuando dichas características. Por su parte se identifica que para la segunda parte del fenómeno el cambio se da en cuanto a acumulación y variación frente al comportamiento histórico, puesto que los meses secos se observan más secos (enero-febrero de 1992), haciendo referencia al realce de las características históricas de dicho periodo de tiempo, mientras que el periodo lluvioso (marzo-mayo de 1992) presenta características de disminución de precipitación, tornándose más secos de lo que históricamente se observa, siendo así que se altera en cierta medida el régimen de comportamiento. Dichas variaciones de precipitación hacen alusión, al igual que en fenómeno descrito anteriormente, a los efectos que en las

condiciones atmosféricas del área de estudio generan los cambios de la circulación en el Pacífico.

Por otra parte, el fenómeno de la Niña se caracteriza por presentar un enfriamiento anómalo de la superficie oceánica en el sector central y oriental del Océano Pacífico y un calentamiento en la parte occidental del mismo en un periodo de 4 meses o más, identificando además un cambio en el patrón de presión del Pacífico, disminuyendo en el sector occidental y aumentando en el sector oriental. En la figura 4, se observa variaciones en la precipitación que hacen alusión a los efectos que en las condiciones atmosféricas generando cambios en los registros de precipitación entre los meses de agosto de 2007 hasta junio de 2008, afectando el último periodo lluvioso de 2007 y el primero de 2008, afectando así los periodos secos y lluviosos en el área.

Con base en el análisis histórico de datos se pudo establecer que desde 1987 en la zona de estudio se han presentado 5 eventos de La Niña, de los cuales ha sido catalogado como muy fuerte (1998 - 2001) y los otros como fuertes, moderados y débiles que impactaron significativamente en el aumento de las lluvias, de los cuales se muestra en la tabla 6 los años y meses de incidencia de cada uno de los fenómenos.

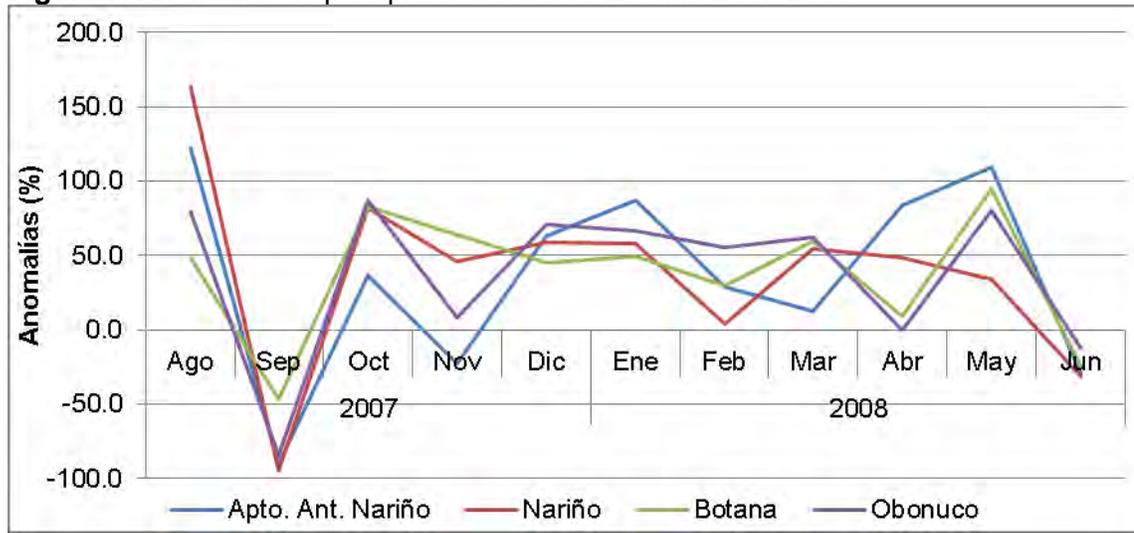
Tabla 6. Fenómenos de La Niña.

Año	Período de desarrollo	Duración (meses)
1988-1989	Mayo 1988 – Mayo 1989	13
1995-1996	Septiembre 1995 – marzo 1996	7
1998-2001	Julio 1998 – Marzo 2001	33
2007-2008	Agosto 2007 – Junio 2008	11
2010-2011	Julio 2010 – Mayo 2011	11

6.2.3 Fenómeno de La Niña 2007-2008: El desarrollo de este fenómeno se presentó entre los meses de agosto de 2007 hasta junio de 2008, afectando el último periodo lluvioso de 2007 y el primero de 2008, de igual manera afecta el periodo seco de inicio de año 2008 (figura 7). En términos generales se observa que durante el este evento la mayoría de anomalías son de tipo positivo, indicando un aumento significativo en la acumulación de precipitación, manteniéndose alrededor de 50% presentando anomalías negativas significativas apenas en dos de los once meses afectados.

Para los meses afectados del año 2007, se registran anomalías positivas que oscilan entre el 35% y 85%, presentándose una notable excepción en el mes de septiembre en el que los registros llegan casi hasta -100%, mientras que el mes de agosto, históricamente de tendencia seca, presenta aumentos de hasta 150%. Por su parte el periodo lluvioso de 2008, ubicado entre marzo y mayo, las anomalías rondan entre 10% y 80%. Por otra parte el periodo seco de enero-febrero de 2008 presenta aumentos significativos, llegando hasta el 80%, mientras que el mes de junio presenta un regreso hacia el comportamiento histórico de esta variable.

Figura 7. Anomalías de precipitación durante La Niña 2007-2008.



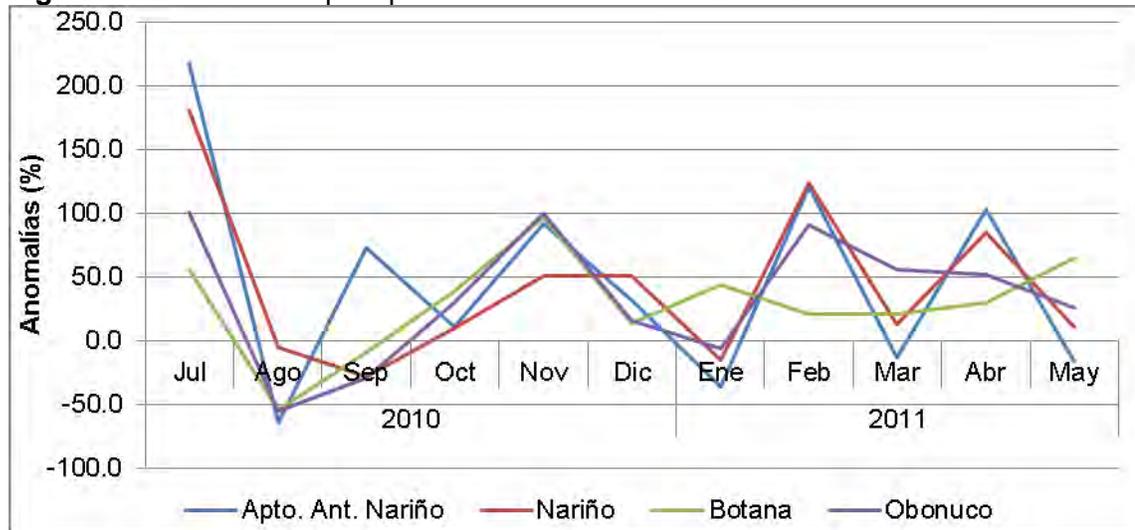
Durante este fenómeno se evidencian una clara disposición hacia el aumento de la precipitación durante todos los meses afectados, acentuando el comportamiento histórico de los periodos lluviosos y cambiando la tendencia en los periodos secos, puesto que se da un aumento muy significativo en cuanto a la acumulación de precipitación. Durante este fenómeno de La Niña, es posible que los aumentos de precipitación están ligados al reforzamiento de los vientos Alisios, que a su vez reforzarían la convergencia intertropical generando una mayor cantidad de nubosidad producida por convección profunda y por ende de lluvia acumulada, pudiendo además extender la influencia de la ZCIT hacia los meses de tendencia seca, principalmente hacia principio de año (2007 en este caso particular).

6.2.4 Fenómeno de La Niña 2010-2011: Este fenómeno se desarrolló entre julio de 2010 y mayo de 2011, abarcando de esta forma los periodos secos de mitad de año de 2010 y el de inicio del 2011, al mismo tiempo que afecta a los periodos lluviosos de final del 2010 y el primero del 2011 (figura 8). Las anomalías que predominan durante este evento son de tipo positivo y oscilan entre 10% y 90%, llegando en algunos casos a ser superiores a 100%, éstas se intercalan con algunas negativas que rondan entre 35% y 65%.

En el periodo seco de mitad de año de 2010, inicio del fenómeno, para el mes de julio la acumulación de precipitación en el área de estudio se duplica, llegando en algunos sectores puntuales, alrededor de las estaciones Aeropuerto Antonio Nariño y Nariño, a ser cuatro veces mayor al promedio histórico, mientras que en el mes de agosto las condiciones propias de un periodo seco se acentúan, acumulándose la mitad de lo que se observa en el comportamiento histórico. Del mismo momento el periodo seco de inicio del 2011 indica en un mes (enero) una tendencia a acentuar las condiciones propias del periodo de tiempo y en el segundo mes (febrero) un cambio de características acumulando en la mayor parte del área de estudio el doble de lluvia frente a los promedios históricos. Por otra parte y hablando ahora de los periodos lluviosos, se presentan aumentos alrededor del 50%, llegando en algunos casos hasta el 100%,

generando que las condiciones de alta precipitación se resalten de una forma aún más notoria

Figura 8. Anomalías de precipitación durante La Niña 2010-2011.



Al igual que lo observado durante el fenómeno de La Niña anteriormente descrito, se presenta un aumento de la precipitación durante la gran mayoría de los meses afectados, haciendo que la acumulación de los periodos lluviosos sea más notoria y en los periodos secos afectando en cierta medida el comportamiento histórico, dando una mayor certeza acerca del reforzamiento de los vientos Alisios y de la intensidad de la ZCIT.

7. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PASTO.

La distribución espacial de la precipitación en el territorio colombiano la determina principalmente su dinámica tropical, el desplazamiento de la ZCIT a lo largo del año, las fuentes de humedad provenientes de la cuenca amazónica y las del océano Pacífico y Atlántico y su fisiografía que tiene como componente la cordillera de los Andes, con valles interandinos, los cuales presentan características especiales asociados a circulaciones locales en el interior de los mismos.

Por otro parte, considerando que el área de la cuenca del río Pasto no es muy grande (428.58 Km²), no debe presentar variaciones significativas en su distribución espacial, sin embargo se puede observar algunas particularidades, donde las cantidades de lluvia se distribuyen según Hurtado (2000)⁶⁹, entre los 1000 y 1500 mm, a lo largo de la región nariñense y en el valle de Atriz oscilan en un rango de 500 a 1000 mm. Según Mesa et al (2000)⁷⁰, está determinada por su situación geográfica y por la influencia de algunos factores importantes, tales como: la circulación atmosférica, el relieve, la interacción entre la tierra y el mar y la influencia de áreas selváticas o boscosas, etc. Colombia al estar ubicada geográficamente en la zona ecuatorial, la sitúa bajo la influencia de corrientes de aire húmedo, originadas en los océanos que bañan sus costas y en la selva del Amazonas, estas corrientes convergen sobre el territorio nacional y producen la mayor parte del total de la precipitación y por la presencia de la cordillera de los Andes, la cual genera lluvias orográficas – convectivas, por efecto de la altitud y la orientación de las montañas. De acuerdo al IDEAM (2001)⁷¹, otros factores generadores de lluvia a lo largo del territorio nacional, se deben en gran medida a los fenómenos convectivos locales y por la influencia de la ZCIT, franja a donde llegan las corrientes de aire cálido y húmedo (alisios del sudeste y del nordeste) provenientes de los grandes cinturones de alta presión, situados en la zona subtropical de los hemisferios norte y sur dando origen a la formación de grandes masas nubosas y de abundantes precipitaciones.

Pero todos estos elementos que confluyen para determinar las características de la precipitación en el área de estudio, tanto a nivel climatológico como sinóptico, no explican en forma suficientemente clara la dinámica, mostrando de esta forma la complejidad que encierra el tratar de comprender los patrones espacio-temporales de la precipitación que predominan en el área de estudio.

En el desarrollo de esta investigación, se encuentra que la distribución espacial de la precipitación en la cuenca del río Pasto se presenta dos núcleos bien definidos, el cual están determinados esencialmente por la presencia de la cordillera Andina. Empezando desde el noroccidente del área de estudio se encuentra el primer núcleo ubicado en el municipio de Nariño sobre las quebradas el silencio y maragato en la parte media de la cuenca del río Pasto (núcleo Nariño figura 19), ubicado entre los 2000 a 2600 m.s.n.m, influyendo de una manera determinante en la distribución de la lluvia en el sector, mostrando registros de 2073.0 mm anuales y concentrando la mayor cantidad de lluvia en

⁶⁹ HURTADO, Gonzalo. "La precipitación en Colombia". IDEAM, 2000. p. 39.

⁷⁰ Mesa Sánchez, óscar José, et al. "Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia." (2000): p 3.

⁷¹ El Medio ambiente en Colombia; Capitulo 3, p 61

la zona. La estación más próxima a este núcleo es Sandoná, ubicada fuera del área de estudio, registrando 1155.8 mm anuales, y dentro del área de estudio la más cercana es la del municipio de Chachagüi la cual se localiza al nororiente de la cuenca y se encuentra ubicada la estación dentro del aeropuerto Antonio Nariño y registra un promedio de 1216.4 mm por año, el cual puede ver influenciada por las quebradas la sardina y la toma. Sin embargo, el incremento en los valores de precipitación probablemente está relacionado con el efecto de barrera orográfica que genera la cordillera donde los vientos locales se ven forzados ascender desde el fondo del valle del río Pasto hacia las laderas tanto del occidente como del oriente, y a partir de esta convección se originan nubes de desarrollo vertical, esto hace que se produzca un enfriamiento de las masas de aire y haya una condensación del vapor del agua presentándose mayor humedad y abundante nubosidad hacia las partes más altas y luego estas se convierte en lluvia sobre las laderas medias y altas de la cuenca del río Pasto.

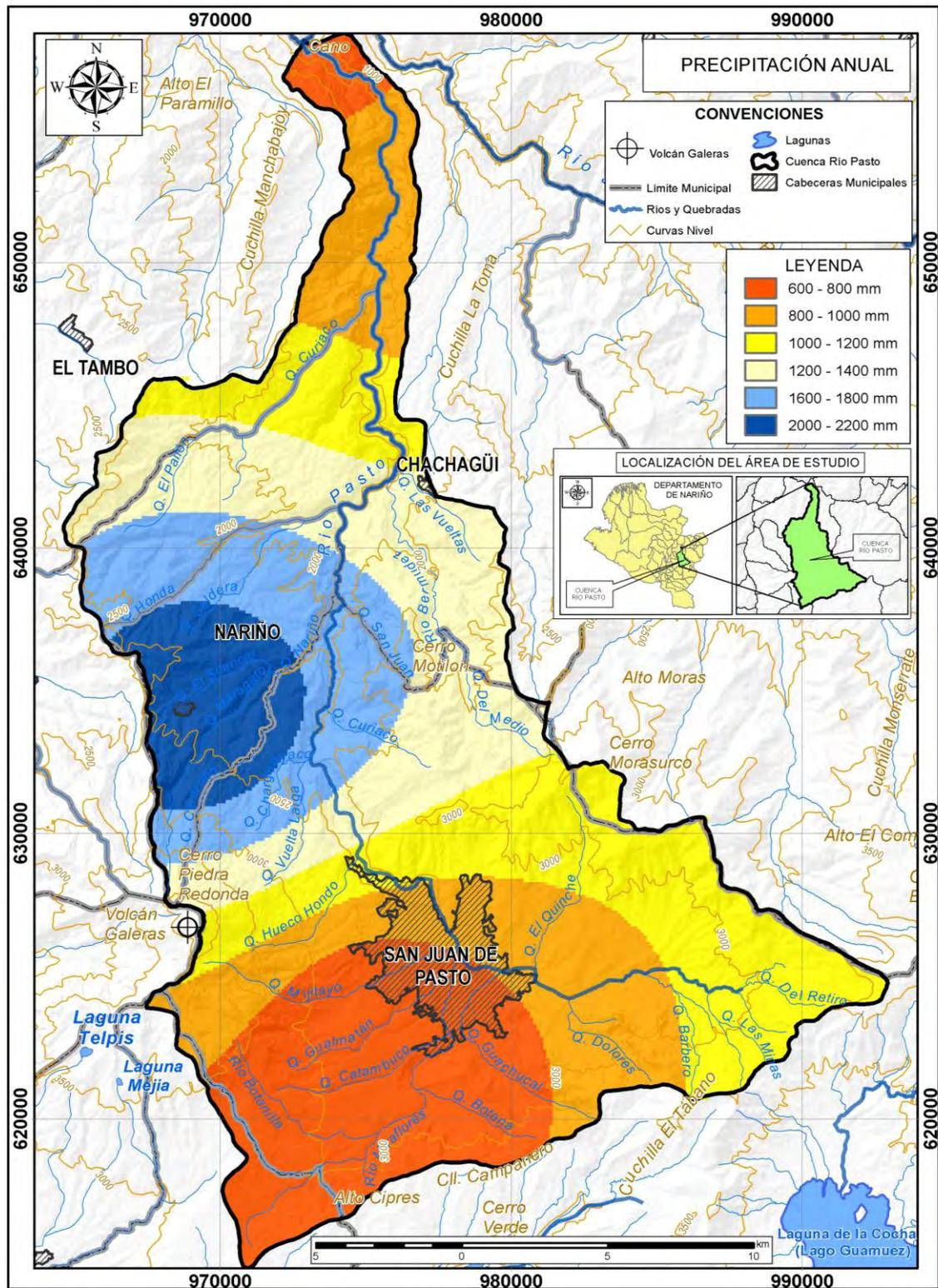
El segundo núcleo se encuentra en el suroccidente del municipio de Pasto (Núcleo Pasto), sobre los corregimientos de Catambuco y Obonuco, ocupando las microcuenca del río Miraflores y Botanilla, las quebradas mijitayo, botana, gualmatán y catambuco (figura 20). Se encuentran registros de 861 a 926 mm anuales, observándose una disposición ovoide (alargada en sentido suroccidente – suroriente) en la precipitación, debido a la ubicación de las dos estaciones que permiten identificar estos registros. Como se dijo anteriormente para la parte suroriente se ve influenciada por un núcleo de menor pluviosidad ya que se encuentran influenciado por el periodo monomodal perteneciente corregimiento del Encano es decir un solo período lluvioso fuerte durante el año y un episodio de menor precipitación. La estación es el Encano y se localiza sobre la vertiente oriental de la cordillera Centro-oriental en lo que se conoce como la cuenca alta del río Guamués. Respecto a la distribución de las lluvias muestra que en la (parte alta de la cuenca) presenta precipitaciones de 800 mm/anual, con un incremento en la cantidad de las lluvias caídas hacia el páramo de Bordoncillo⁷² con un valor de 1371.0 mm anuales registrados en esta misma estación.

De esta forma puede afirmarse que la vertiente oriental es más húmeda que la occidental, lo cual puede explicarse por la influencia amazónica que existe sobre la primera. Las masas de aire impulsadas por lo alisios descargan su humedad en dicha vertiente y alcanzan a sobrepasar la divisoria de aguas. Al lado occidental de la divisoria, las masas de aire enfriadas por la altura descienden y afectan las laderas altas de estas zonas de páramo hacia la cuenca alta del río Pasto y el valle de Atriz, las cantidades de lluvia son significativamente más bajas debido en gran parte a la influencia de masas de aire cálidas y secas, que se generan en el valle del río Patía y que ascienden por los cañones de los ríos Juanambú, Guáitara y Pasto. En estos corredores, la humedad del aire tiende a aumentar con la altura debido al efecto de la condensación, sin embargo la precipitación no aumenta significativamente⁷³.

⁷² Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Pasto, 2008, op. cit., p 5.

⁷³ Estado del Arte de la Información Biofísica y Socioeconómica de los Paramos de Nariño, 2007. p 63.

Figura 9. Comportamiento anual de la precipitación.



Fuente:

La variación anual que presentan los núcleos de precipitación permite observar que, aunque existen cambios en las acumulaciones mes a mes, la permanencia de estos no varía drásticamente. A continuación se describen los aspectos más relevantes de los cambios en las acumulaciones y áreas de influencia de dichos núcleos.

Teniendo en cuenta lo anterior, el periodo bimodal de la cuenca, el mes de **Enero**, no es considerado como uno de los más lluviosos del año, analizando los promedios mensuales, para este mes se encuentra un núcleo de precipitación en el flanco noroccidental ubicado en la parte media y media baja de la cuenca, específicamente en el municipio de Nariño con un promedio que oscila los 10.5% correspondiente a la microcuenca pozo verde y cerca de la quebrada el silencio y maragato y va disminuyendo progresivamente hacia el cañón del río Pasto. Luego se presenta un núcleo de baja pluviosidad en la parte alta de la cuenca localizada al suroccidente de esta, que corresponde a las microcuenca del río Miraflores y las quebradas Guachucal y Mijitayo; con promedios que oscilan los 8.6% para las dos estaciones ubicadas en este sector (Botana y Obonuco), donde pueden estar influenciadas por el relieve de las quebradas de Gualmatán, Botana y el río Botanilla. Mientras que para la parte nororiental del área no presenta un núcleo en particular de precipitación donde se encuentra ubicada la microcuenca la toma y la quebrada el chupadero cerca a la estación del aeropuerto, donde las lluvias fluctúan entre un promedio del 8.7% (figura 20).

Para el mes de **Febrero** los núcleos de precipitación no presentan un desplazamiento importante sino que siguen localizados en la parte media de la cuenca como en el mes anterior (figura 20), donde los extremos noroccidental y suroccidental del área presentan una leve disminución en las lluvias con un promedio del 8.6% mensual, el núcleo suroccidental tiene una influencia en la parte suroriental por el cual las lluvias están sobre este promedio igual que en el mes de enero. Para la parte nororiental disminuye hasta un 7.6% por este motivo se la toma como un mes de transición para la estación del aeropuerto ya que presenta una fluctuación entre lo lluvioso y lo seco en esta zona.

En el mes de **Marzo** como se dijo anteriormente los núcleos de precipitación se encuentran localizados en las mismas zonas y desplazan hacia la parte alta como baja de la cuenca, pero con un incremento significativo en la precipitación, esto se debe a que la ZCIT realiza su desplazamiento hacia el norte, lo que produce una intensificación en las lluvias en estos meses del año, para este mes la precipitación tiene un promedio del 10.4% mensual para toda el área, siendo este uno de los meses con mayor pluviosidad en la cuenca, (figura 21).

En **Abril** es el mes con más intensa actividad en la precipitación donde su promedio es de 11.0% en el área de la cuenca, en el (figura 21), se observa la existencia de dos núcleos de precipitación plenamente definidos, como se mencionó anteriormente el núcleo del noroccidente es el que registra la mayor cantidad de lluvia que corresponde a la estación de Nariño con un promedio del 9.6% mensual y este se va desplazando hacia la parte baja de la cuenca, teniendo en cuenta que la estación del aeropuerto presenta un aumentado en el promedio del mes del 13.2% con respecto a los anteriores meses. Para el núcleo del suroccidente, la cantidad de lluvia aumenta significativamente para las dos estaciones ubicadas en este sector (Botana y Obonuco) con un promedio que oscila entre el 10.6% mensual pero aumentando su presencia hacia la parte central y oriental del área de estudio.

El mes de **Mayo** se caracteriza por una baja en los valores de precipitación con un promedio de 8.6%, esto se debe a que el período lluvioso llega a su fin para dar inicio al período seco en la cuenca. En este mes en la estación Nariño tiende a ser de transición ya que no excede los valores de lluvia sino tiende a bajar drásticamente con el que registra un promedio del 7:0% mensual (figura 22), este período lluvioso algunas veces tiende a prolongarse hasta el mes julio, esto se debe a las masas saturadas de humedad impulsadas por los alisios del sur que logran sobrepasar la divisoria de aguas, afectando así el flanco occidental de la cordillera, esto se hace especialmente evidente en las estaciones anteriormente mencionadas. En la parte suroriental de la cuenca, en este mes los registros de pluviométricos empiezan aumentar hacia el sector del páramo del bordoncillo, la cuchilla del tábano y el corregimiento del Encano, en el cual se evidencia un periodo monomodal según las estaciones del IDEAM y empieza la época lluviosa para este sector.

En **Junio**, empieza el período seco del área, el cual se caracterizan por sus mínimos valores de pluviosidad con un promedio que oscila los 5.2% mensuales localizados en la parte media alta, media y baja del área de estudio. En este mes se localiza un núcleo de precipitación en la parte suroriental con valores que oscilan entre los 50 y 120 mm mensuales, esto se debe en gran parte al periodo monomodal presente para las estaciones ubicadas en la cuenca alta del río Guamués y corregimiento del encano (figura 22).

EL mes de **Julio** es relativamente seco respecto al anterior mes con un promedio de 3.9% mensual para la parte media y baja de la cuenca, en sus costados noroccidental, suroccidental y nororiental de la zona (figura 23), mientras en la parte suroriental de la cuenca se incrementan los valores que oscilan entre los 45 a 100 mm mensuales, este régimen se lo asocia a la lluvia producida por nubes de tipo orográfico originadas por los vientos alisios del suroriente que chocan contra la vertiente oriental de la cordillera centro oriental.

El mes **Agosto** es considerado como uno de los meses más seco de todo el año para la cuenca del río Pasto, con un promedio de 2.4% mensual para el área de estudio, en su parte media y baja de la cuenca (figura 23), en el que según Paramos de Nariño⁷⁴, es probable que los vientos alisios influncian, al valle de Atriz y cambien su dirección y se encaminan hacia el norte de manera alineada al valle y al cañón del río Pasto, sin embargo, estos vientos causan alta evaporación en el valle con períodos de déficit hídrico, y que se presenten algunas precipitaciones esporádicas esto se debe a los valores mínimos de lluvia que se presentan en el área, la estación del aeropuerto presenta el valor más bajo con un promedio de 1.4% mensual. Mientras en el costado suroriental de la cuenca se sigue manteniendo el núcleo de precipitación pero ya con unos mínimos valores que van de los 30 a 80 mm, esto se debe a que el período lluvioso del sector del encano comienza a debilitarse para darle paso al período seco de la zona.

En el mes **Septiembre** el núcleo de precipitación se encuentra distribuido en la parte alta, media y baja de la cuenca (figura 24), en el cual presenta un incremento significativo en la pluviosidad, esto se debe a que el período seco presenta un debilitamiento, y aumenta las

⁷⁴ Estado del Arte de la Información Biofísica y Socioeconómica de los Paramos de Nariño, 2007. op. cit., p 70

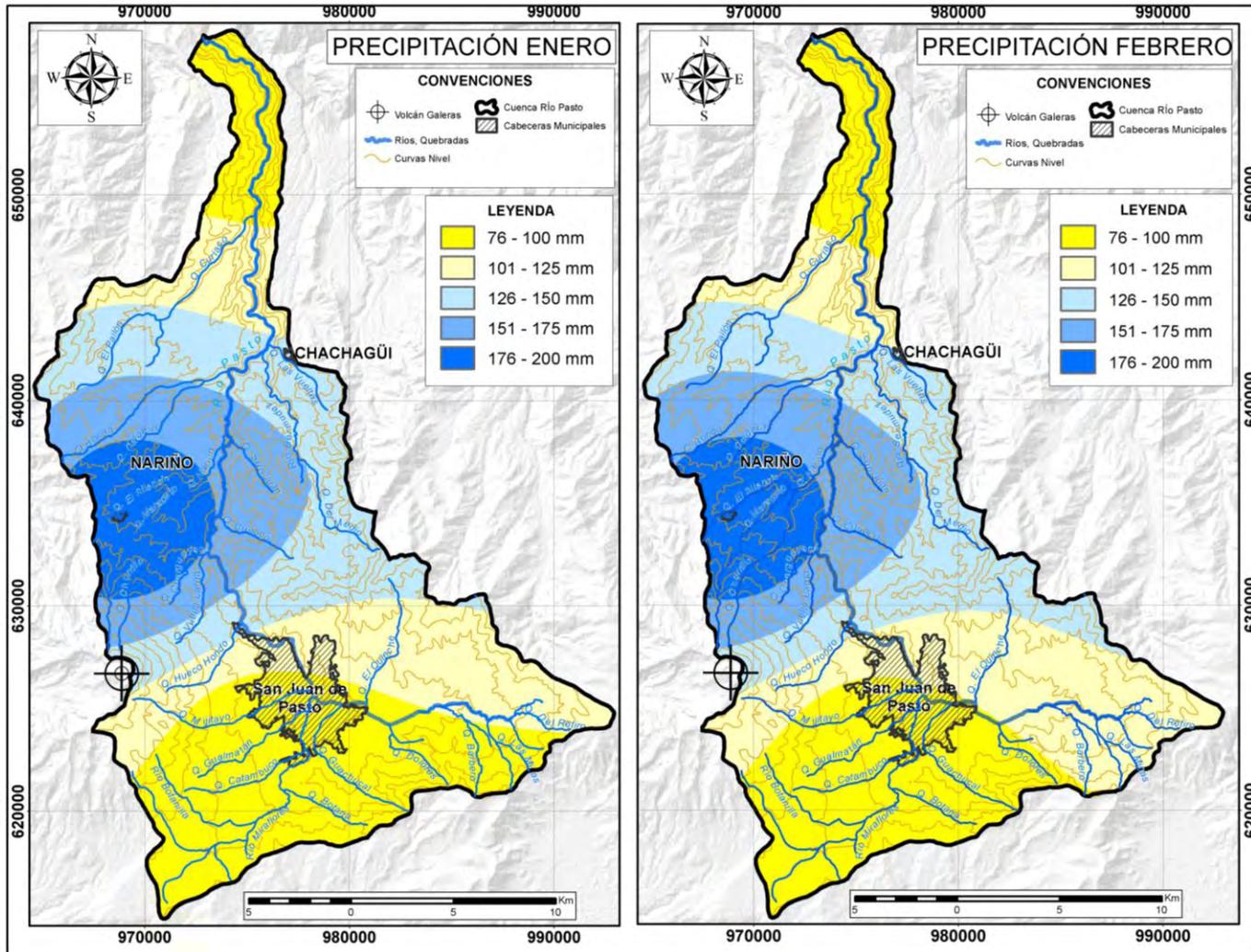
lluvias en el área con un promedio que oscilan los 5.2% anual, pero la mayor cantidad de precipitación se localizan en el costado suroccidental específicamente en el municipio de Pasto en las estaciones de obonuco y botana con un promedio de 6.4% mensual, en la parte noroccidental y nororiental de la cuenca se registra un promedio de 4.1% mensual y por último en el flanco suroccidental donde los anteriores meses tenía un incremento significativo empieza a disminuir la precipitación.

Para el mes de **Octubre** la ZCIT se desplaza nuevamente hacia el sur y condiciona el período lluvioso de finales del año en la cuenca, por el cual se intensifica la precipitación en la parte media y baja y con poca intensidad en la parte alta del área (figura 24). En este mes se encuentra un núcleo de precipitación en la parte media localizado en el municipio de Nariño con un promedio de 11.2% mensual y con influencia sobre la parte nororiental del cañón del río pasto sobre el municipio de Chachagüi, en el que la estación del aeropuerto registra un 12.1%, siendo estas las que presentan mayor pluviosidad y predominan hacia la parte baja de la cuenca. Las estaciones de Obonuco y Botana ubicadas en el flanco suroccidental del municipio de Pasto registran un promedio de 10.7% mensual, comparadas con las otras dos estaciones estas tienen un mínimo de pluviosidad, y el flanco suroriental que presentaba un alto índice de lluvias en el período seco para este período presenta una disminución en la precipitación, por el período seco presente en la zona del corregimiento del encano.

En el mes de **Noviembre** se intensifica la pluviosidad y registra los valores máximos de la cuenca con un promedio de 13.5% anuales. El núcleo de precipitación que se encuentra en la misma zona pero distribuyéndose desde la parte media hacia la parte baja de la cuenca registrando el mayor valor de precipitación en la estación de Nariño con un promedio de 16.1% mensual, es la que registra los máximos de precipitación y la estación del aeropuerto registra un 13.9% mensual siendo la segunda estación con más intensidad de lluvia dentro de la cuenca (figura 25). A medida que nos trasladamos al flanco suroccidental se encuentra un núcleo con menor pluviosidad, localizado en las estaciones de Obonuco y Botana, la precipitación oscila entre un promedio del 12% mensual, donde la intensidad de lluvia no es tan alta con respecto a las otras estaciones y la influencia de este núcleo sigue siendo baja para la parte suroriental.

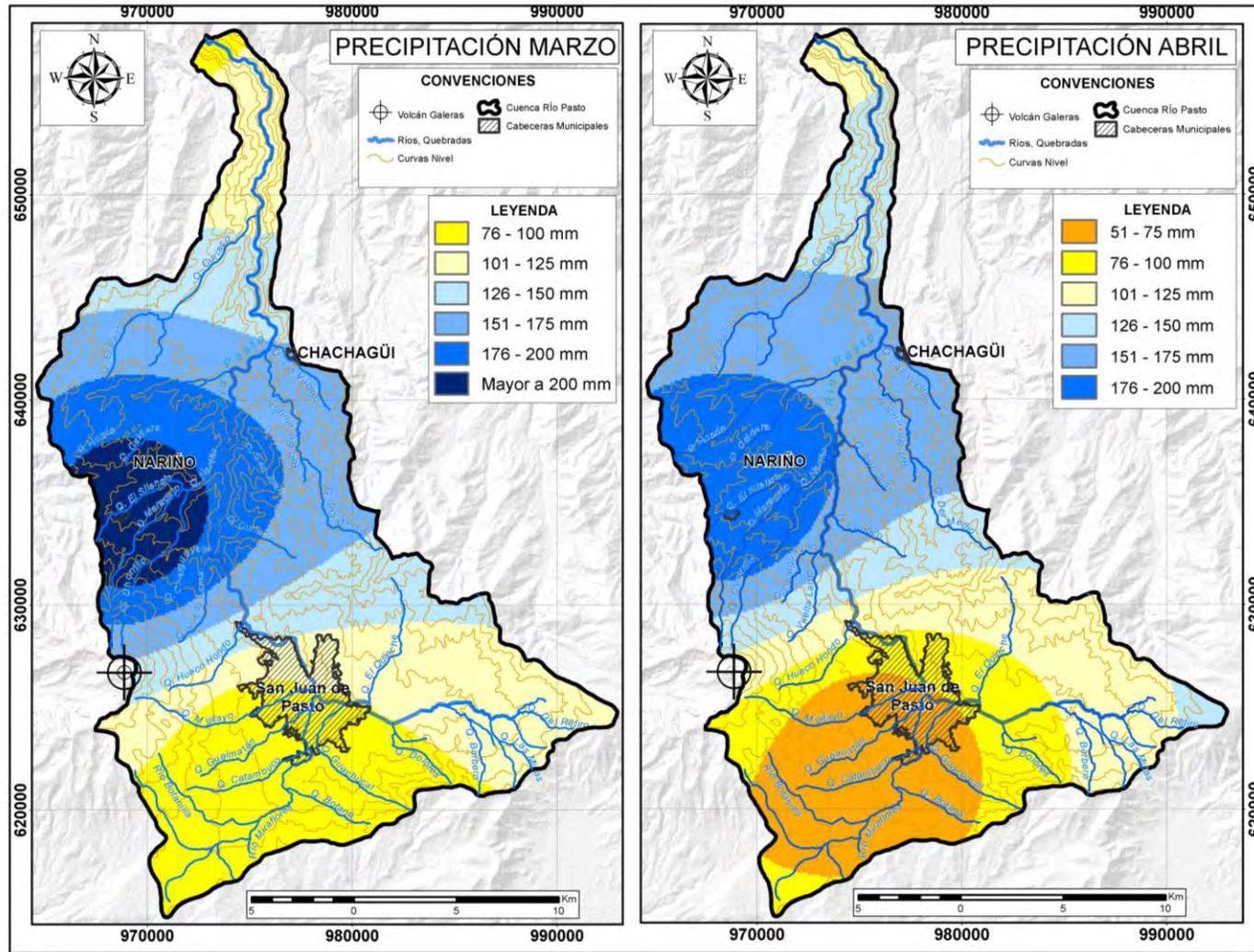
En el mes **Diciembre** la precipitación para el área de estudio se registran un promedio que oscila los 11.0% anual (figura 25), para la parte alta y baja de la cuenca se registra una menor precipitación, en cambio para la parte media de la cuenca para los flancos noroccidental y nororiental los registros de pluviosidad se mantienen entre un promedio de 11.8% mensual, esto se debe a que las masas de aire cálidas y secas, que se generan en el valle del río Patía son transportadas por los cañones del Pasto y Guáitara y ascienden hacia las parte baja y media de la cuenca del río Pasto. En estos corredores, la humedad del aire tiende a aumentar con la altura debido al efecto de la condensación.

Figura 10. Comportamiento medio de la precipitación Enero - Febrero.



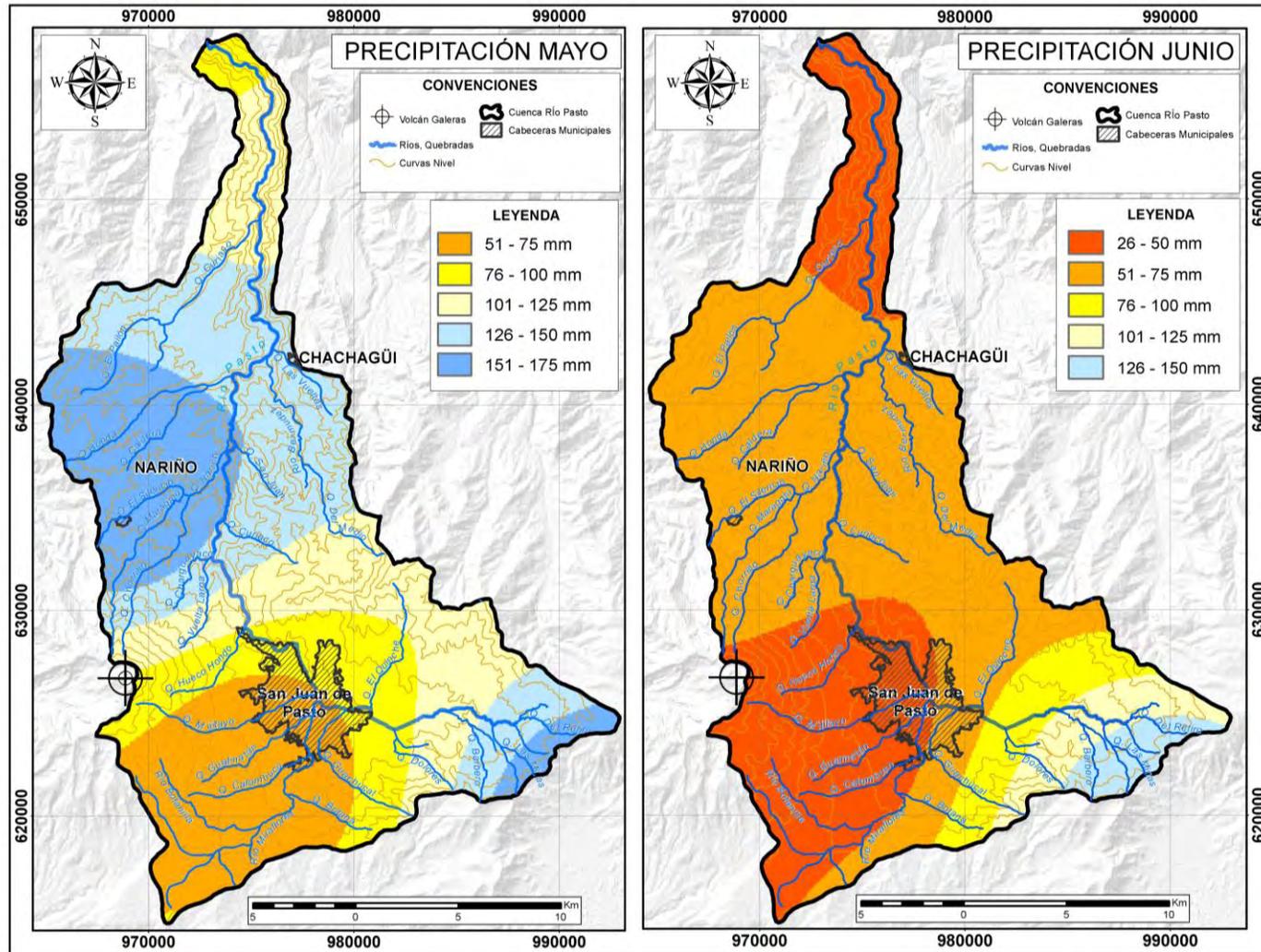
Fuente:

Figura 11. Comportamiento medio de la precipitación Marzo - Abril.



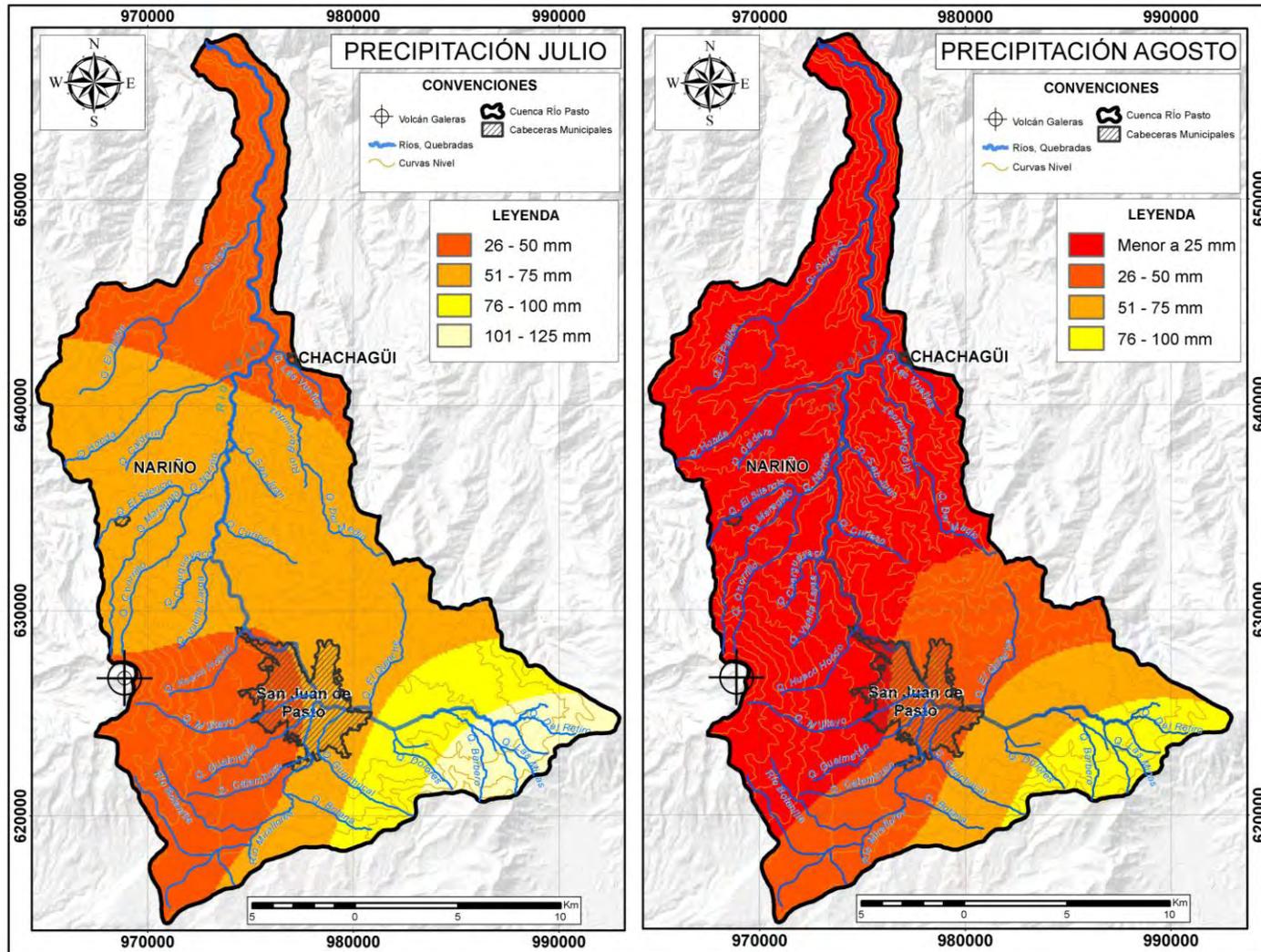
Fuente:

Figura 12. Comportamiento medio de la precipitación Mayo – Junio.



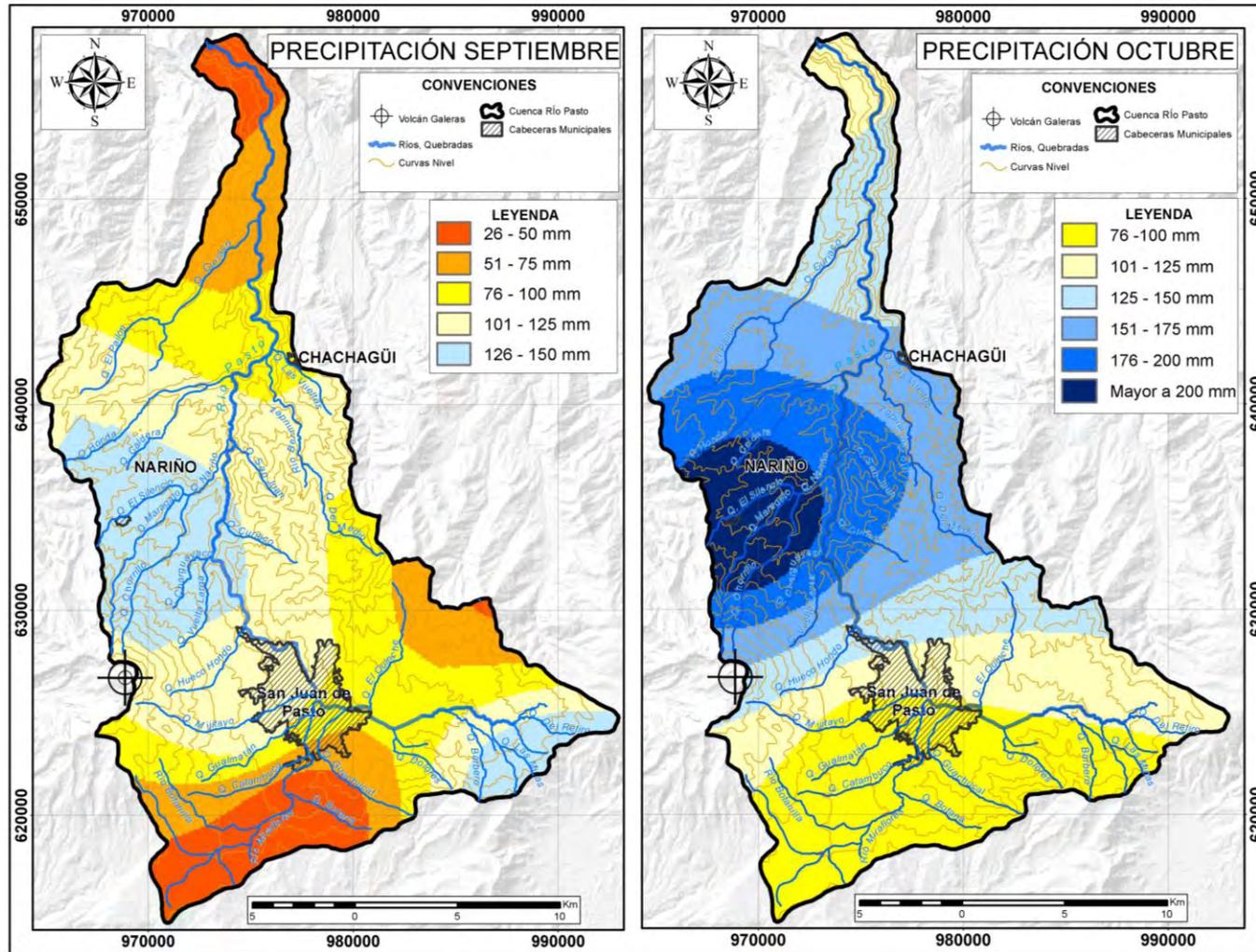
Fuente:

Figura 13. Comportamiento medio de la precipitación Julio – Agosto.



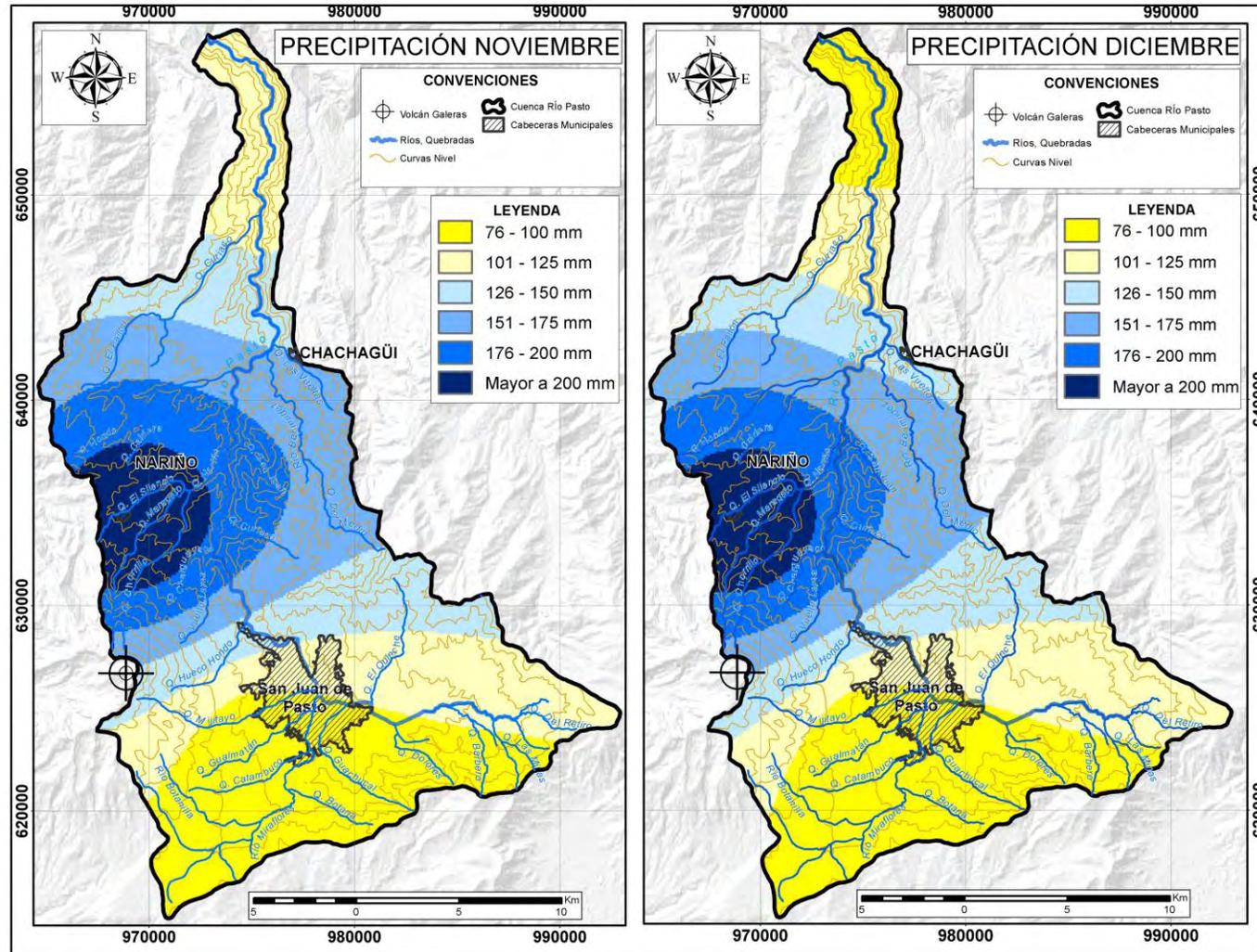
Fuente.

Figura 14. Comportamiento medio de la precipitación Septiembre – Octubre.



Fuente:

Figura 15. Comportamiento medio de la precipitación Noviembre - Diciembre



Fuente:

8. INFLUENCIA DEL RELIEVE EN LA CIRCULACIÓN LOCAL Y EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA LLUVIA.

En esta parte del capítulo, basándose en el comportamiento mensual y espacial de la precipitación, el análisis de la distribución del relieve sobre la circulación del aire y la distribución espacial de la lluvia en el área de estudio. El propósito de dicho modelo es facilitar la comprensión acerca de la incidencia del relieve en el establecimiento de núcleos de alta o baja precipitación en el área de estudio.

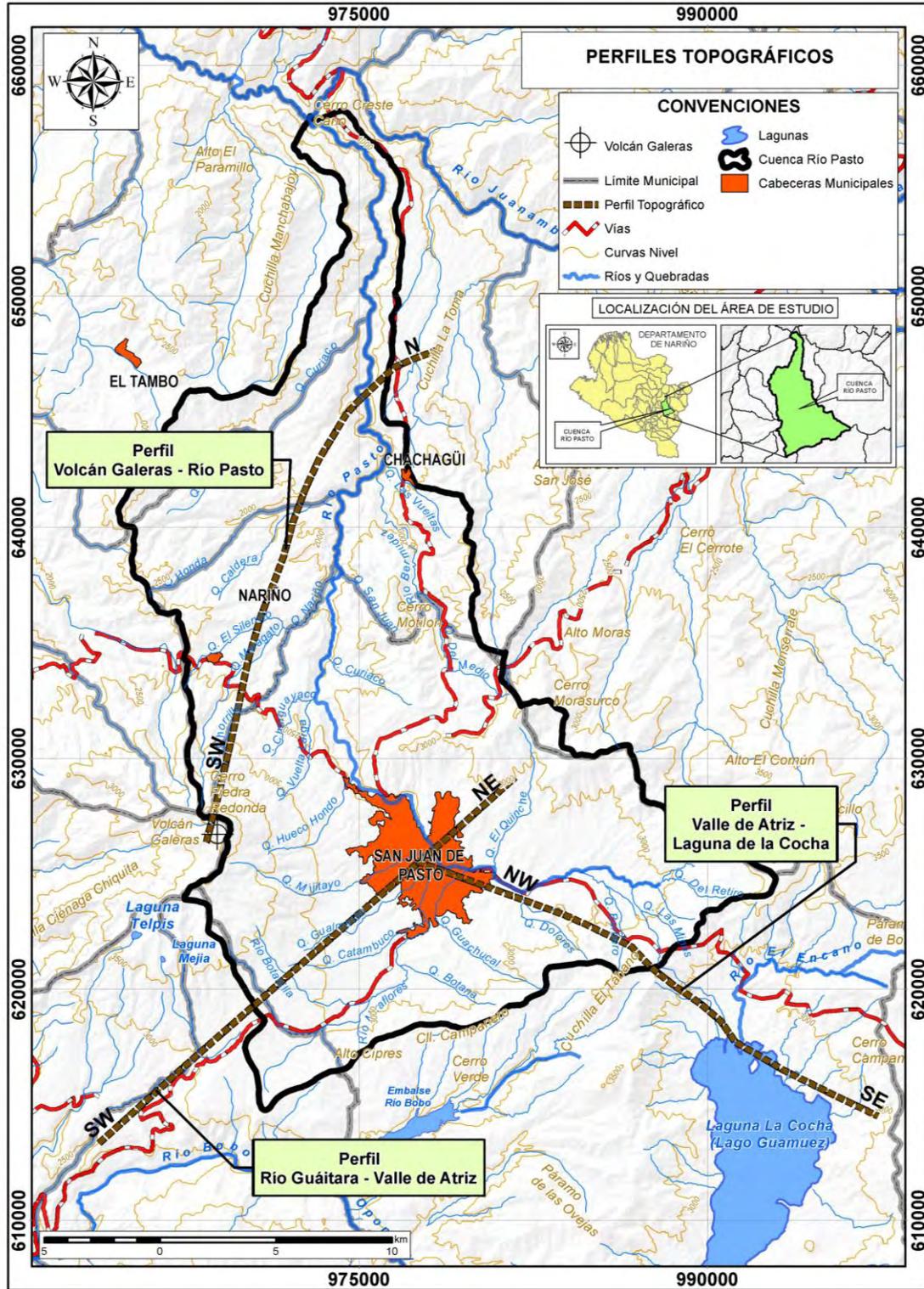
Por otro lado, se observa que el relieve influye significativamente en la distribución espacial de la precipitación, por lo cual se han formulado tres modelos de circulación que van desde el norte a sur, el perfil del Volcán Galeras – Río Pasto, otro va desde el suroccidente al Nororiente de la cuenca el perfil del Río Guátara – Valle de Atriz y el ultimo desde la zona suroriente hasta el noroccidente Valle de Atriz – Laguna de la Cocha (Guamués). Estos perfiles explican el establecimiento de núcleos secos y lluviosos en la cuenca del río Pasto. Figura xx.

En el desarrollo de esta investigación se encuentra que la distribución espacial de la lluvia en la cuenca del río pasto se presentan dos núcleos de alta precipitación, todos ellos determinados esencialmente por la presencia de la cordillera Andina. Por un lado, en el flanco occidental de la cordillera centro-Oriental se esperaría que se establezca una circulación más o menos constante de vientos anabáticos (valle - montaña) durante las horas de la mañana, de esta manera, las masas de aire que se desplazan desde el fondo del río Pasto y que ascienden por las laderas, ganan humedad y a medida que ascienden se condensan y forman nubes de lluvia que se precipita en esta vertiente.

Empezando desde municipio de Chachagüi hasta la parte alta del volcán Galeras se encuentra el primer núcleo ubicado en la parte media de la cuenca del río Pasto (“núcleo Nariño” al noroccidente del área de estudio) y si bien se encuentra un poco más arriba de los 2467 m.s.n.m, influye de una manera determinante en la distribución de la lluvia en este sector de la cuenca, mostrando registros superiores de 2073 mm por año y concentrando la mayor cantidad de lluvia en la zona, a “medida que asciende por este flanco norte del volcán Galeras, se va enfriando y, dado que en el camino va recogiendo humedad de la superficie, cuando alcanza alturas superiores a los 2500 m.s.n.m”⁷⁵, se condensa dando lugar al núcleo de alta precipitación existente en esta zona. El otro núcleo de menor consistencia (tendencia seca) es para la parte baja de la cuenca sobre los municipios de Chachagüi y el Tambo. Así entonces, este núcleo de baja precipitación que se encuentra cerca a estos municipios y sobre la confluencia de los ríos Guátara, Pasto y Juanambú, se debe a que el encañonamiento del río pasto contribuya a fortalecer el efecto seco de esta zona (figura 26), encontrando lluvias no mayores a los 1000 mm anuales, condiciones que se pueden presentar por la ascendencia de los vientos secos provenientes desde el fondo del cañón del río pasto hasta la parte alta de esta zona lo que no genera una mayor evaporación para esta área.

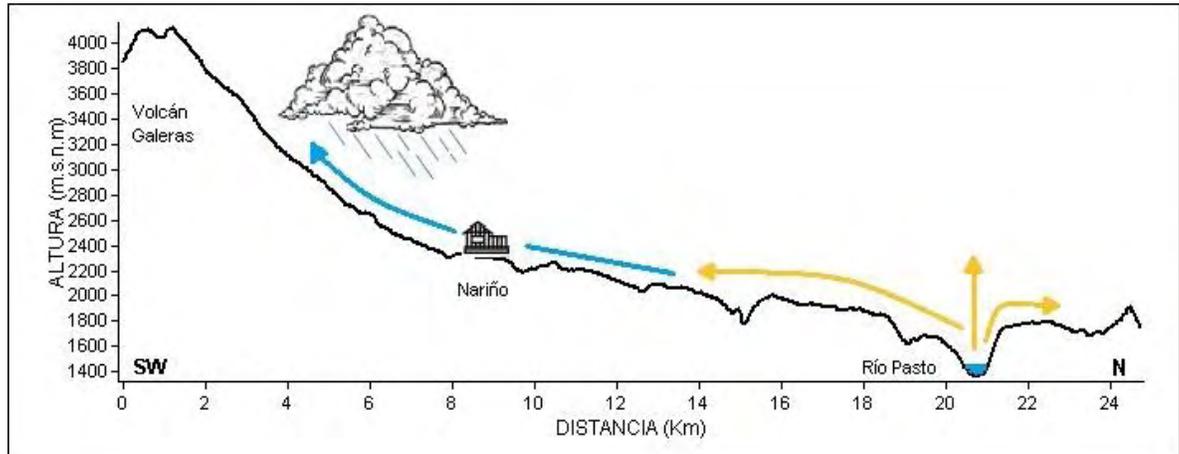
⁷⁵ Narváez G. 2010. Op cit. p. 103.

Figura 16. Ubicación de los perfiles para el área de estudio.



Fuente:

Figura 17. Modelo de circulación y formación de nubes de lluvia en el perfil Volcán Galeras – río Pasto.



Fuente: Base topográfica IGAC, 2014.

La explicación de estos núcleos lluviosos y secos se debe Según “Narváez (2010)”⁷⁶ a la dirección del viento que predomina sobre estas partes bajas de esta zona entre los 1500 2000 m.s.n.m. predomina la dirección norte, mientras que en las partes altas situadas por encima de los 2500 m.s.n.m. prevalece la dirección sur, esto se debe a que la dirección del cañón del río pasto está dispuesto de sur – norte. De esta forma y en especial durante el día las masas de aire que ascienden a lo largo de este cañón se generan condiciones precisas para el desarrollo de un efecto chimenea, el cual el aire se desplaza a lo largo en sentido norte - sur.

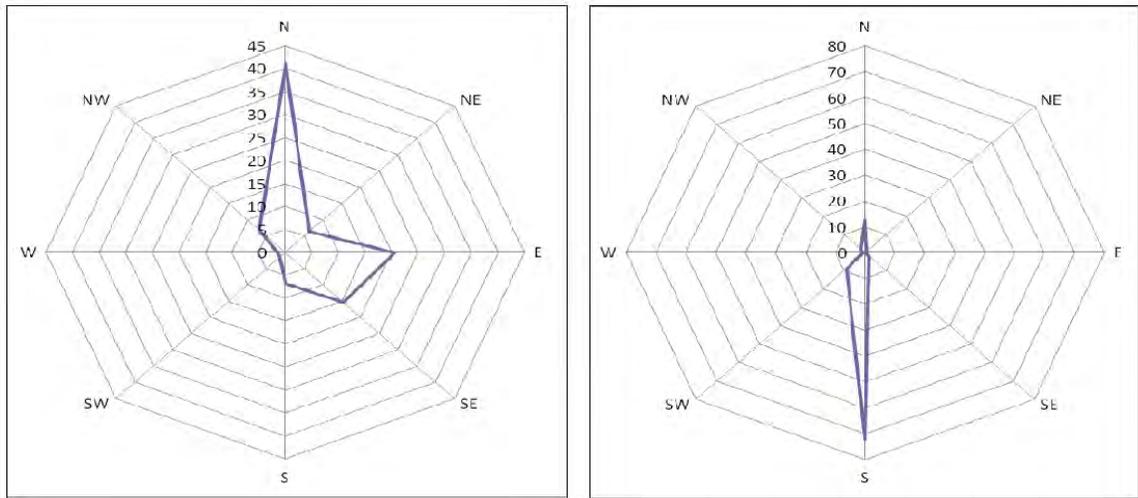
Tomando en cuenta lo anterior, el comportamiento del viento se registra sobre dos estaciones dentro del área de estudio como son Obonuco y el aeropuerto Antonio Nariño, localizado en la parte sur y norte de la cuenca, las cuales se tendrán en cuenta para los otros perfiles que se explicaran más adelante. La velocidad y dirección del viento como se observa en la figura 27, varía dependiendo de su ubicación, el cual se hace evidente la influencia del relieve en la circulación del aire.

Hacia el área de estudio (estación de obonuco), predominan los vientos provenientes del sur, la mayoría del tiempo. “Esta estación se ubica en la ladera oriental del volcán Galeras, y la prevalencia de la dirección es sur, probablemente es explicada por el condicionamiento orográfico de este volcán en relación con la dirección general de los alisios, los cuales pueden ser desviados hacia el norte tanto por la presencia del Galeras”⁷⁷ como por la influencia de masas de aire ascendentes desde el cañón del río Guáitara. Esta condición hace que en la parte alta y sur del volcán frecuentemente se generen nubes cumuliformes (figura 28) producto de la condensación del aire, la cual ocurre por el ascenso forzado de las masas de aire a lo largo de este flanco.

⁷⁶ Narváez, G. 2010. Op cit. p. 104.

⁷⁷ Narváez, G. 2010. Op cit. p. 87

Figura 18. Dominancia porcentual de dirección del viento, en las estaciones Aeropuerto Antonio Nariño (izquierda) y Obonuco (derecha).



Fuente de Datos: German Narváez Bravo, (2010), IDEAM, (2008)⁷⁸.

Figura 19. Nubes cumuliformes de origen orográfico, formadas por el ascenso de masas de aire desde los cañones de los ríos Pasto y Guáitara.



Fotografía: Pedro F. García Z. 2015.

Por otro lado, para el sector del cañon del río pasto, la estación del Apto Antonio Narin, las direcciones predominantes son norte de un 30.5%. Las cuales están influenciadas con los vientos alisios (este y sureste). Si bien estos vientos corresponden al flujo básico de los alisios, otras direcciones de viento (las de mayor prevalencia) son generadas por el condicionamiento topográfico, puesto que el cañon se encuentra alineado dirección sur norte como se mencionó anteriormente, lo cual facilita que principalmente durante el día, predominen corrientes de aire cálidas y secas que ascienden por este sector desde la parte baja del río ubicada hacia el norte de la estación del Aeropuerto⁷⁹. Estas corrientes

⁷⁸ IDEAM, 2008. Citado por Narváez, G. 2010. Op cit, p 86.

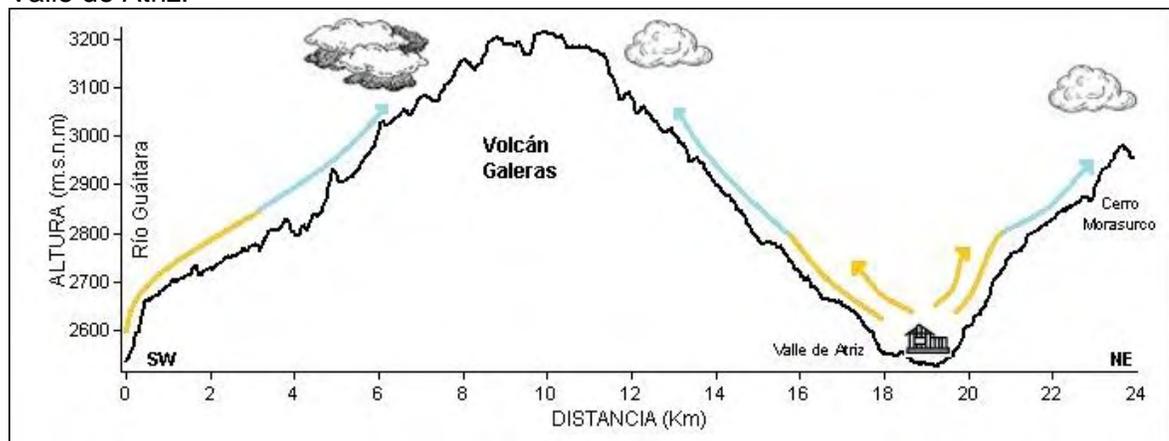
⁷⁹ Narváez, G. 2010. Op cit. p. 87.

procedentes del norte predominan desde octubre a abril, pues entre mayo y septiembre cobran mayor fuerza los vientos de direcciones sureste y este. Finalizando nos permite concluir que la circulación local condicionada por el relieve especialmente la que se presenta durante el día vientos (anabáticos) es una constante en esta zona, exceptuando la mitad de año cuando los alisios cobran mayor vigor debido al desplazamiento de la ZCIT hacia el norte de la línea ecuatorial. No obstante, exceptuando noviembre, los alisios están presentes durante todo el año, si bien con una menor predominancia.

Para el segundo transecto que va desde el sector del río Guáitara hasta el valle de Atriz, se presentan un núcleo de precipitación para el sector sur sobre el municipio de Pasto. Este núcleo Pasto, se puede observar que en inmediaciones del flanco sur del volcán Galeras, se observa las zonas con su valor más bajo de lluvias del área en las estaciones de (Botana y Obonuco) donde cae casi una tercera parte de lo que se precipita hacia el norte con una oscilación de 861 a 926 mm anuales. De esta manera, la precipitación queda condicionada a procesos convectivos orden local o determinadas por las masas de aire que se desplazan a lo largo de los cañones de los ríos Guáitara y Pasto (figura 29).

De hecho, se estima que las masas de aire cálidas que se mueven a lo largo del valle del río Guáitara chocan contra las laderas del flanco norte del volcán Galeras y generan procesos convectivos forzados que condicionan un alto nivel de precipitación al norte del volcán, y de manera contraria, un efecto de sombra seca en la parte sur del mismo, sobre los sobre los corregimientos de Catambuco y Obonuco, sobre las microcuencas del río Miraflores y Botanilla.

Figura 20. Modelo de circulación y formación de nubes de lluvia en el perfil Río Guáitara – Valle de Atriz.



Fuente: Base topográfica IGAC, 2014.

Como se dijo anteriormente, la estación de obonuco presenta una dirección sur del viento de los cuales pueden ser desviados por la presencia de una barrera orográfica como lo es el volcán hacia la parte del valle de Atriz, esto condiciona que los vientos alisios puedan ser desviados por la influencia de masas de aire ascendentes desde el cañón del río Guáitara, estas corrientes de aire son cálidas y secas que provienen del fondo del valle del Patía, las cuales al presentar un ascenso forzado se condensan y forman nubes de lluvias de tipo orográfico a lo largo de este flanco (figura 30), las masas de aire enfriadas por la altura descienden y afectan las laderas altas de estas zonas, al pasar al lado de

sotavento el valle de Atriz demuestra una tendencia seca ya que no se generan procesos convectivos locales lo suficientemente fuertes como para generar altos valores de precipitación durante el año.

Figura 21. Nubes cumuliformes formadas por el choque de masas de aire contra el volcán Galeras, provenientes del sur.



Fotografía: Pedro F. García Z. 2015.

Por otro lado, considerando los valores significativamente altos de velocidad que existen en la estación de Obonuco, es probable que el flanco oriental del Galeras esté influenciado por vientos alisios, los cuales una vez que llegan al valle de Atriz cambian su dirección y se encaminan hacia el norte de manera alineada al valle y cañón del río Pasto. Sin embargo, por encima de los 3000 m.s.n.m. de acuerdo a Rivera y Pabón (1992), citados por UAESPNN (1998)⁸⁰, en el volcán Galeras predominan los vientos que proceden del occidente, suroccidente y sur, los cuales a su vez son desplazados a mediados del año por los vientos alisios del sureste.

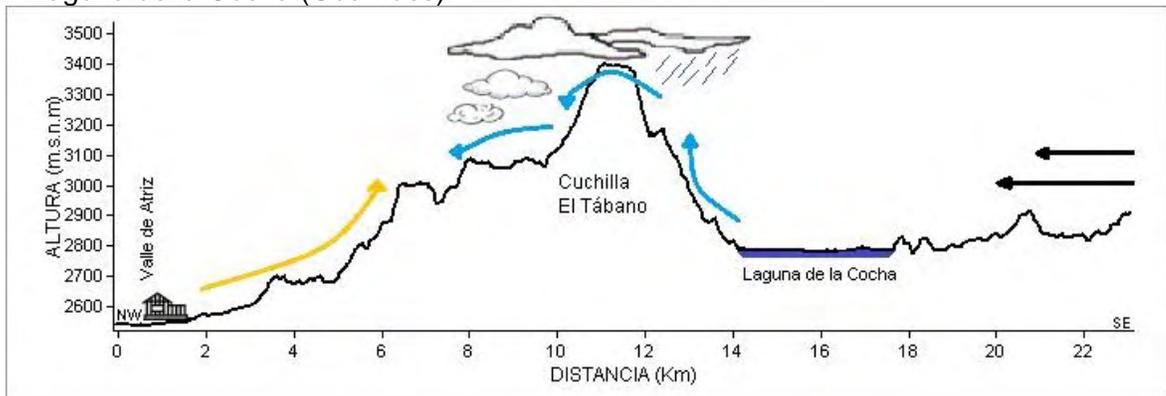
La variación espacio - temporal de la precipitación en esta zona está relacionada con la oscilación latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), siendo también de una alta importancia la influencia de la circulación predominante en la región amazónica, además de notarse un claro condicionamiento del relieve, puesto que se encuentran zonas altas como cerro el tábano y bordoncillo. De esta manera, para el último transecto que va desde el valle de Atriz hasta laguna de la Cocha, en el flanco suroriental del área de estudio se encuentra un núcleo de precipitación no muy marcado para la parte alta de la cuenca, en el cual se ubican dos estaciones que presentan un régimen monomodal, es decir un solo período lluvioso fuerte durante el año y un episodio de menor precipitación. Dichas estaciones son El Encano y Santa Isabel localizadas sobre la vertiente oriental de la cordillera Centro-oriental en lo que se conoce como la cuenca alta del río Guamués.

En este caso los registros más altos se observan cuando la ZCIT se encuentra en su tránsito de sur a norte, puesto que es en esta época cuando los procesos generadores de nubosidad de desarrollo vertical están encadenados a la convección forzada de los vientos alisios del sureste, que arrastran humedad desde la cuenca del Amazonas y al chocar con la vertiente oriental de la cordillera Centro - Oriental generan grandes

⁸⁰ UAESPNN Regional Surandina. Pasto, 1998. Plan de Manejo del Santuario de Flora y Fauna del Galeras.

precipitaciones lo cual hace que esta zona sea significativamente más húmeda, este periodo de tendencia lluviosa no presenta un aporte significativo de precipitación al pasar la divisoria de aguas sobre el sector occidental de la cordillera del lado de sotavento. Por otra parte, en la época seca no se identifica un cambio muy fuerte, como sí ocurre en las estaciones de una marcada influencia andina, puesto que en este caso, disminuye el aporte de los vientos Alisios del sureste y la lluvia que se presenta es generada, en su mayoría, por la ZCIT. En la figura 31 puede apreciarse el modelo de circulación de las masas de aire que afectan y caracterizan la distribución de la precipitación esta zona.

Figura 22. Modelo de circulación y formación de nubes de lluvia en el perfil Valle de Atriz – Laguna de la Cocha (Guamués).



Fuente: Base topográfica IGAC, 2014.

De esta forma puede afirmarse que la vertiente oriental es más húmeda que la occidental, lo cual puede explicarse por la influencia amazónica que existe sobre la primera. Las masas de aire impulsadas por los alisios descargan su humedad en dicha vertiente y alcanzan a sobrepasar la divisoria de aguas. Al lado occidental de la divisoria, las masas de aire enfriadas por la altura descienden y afectan las laderas altas de estas zonas e incluso al valle de Atriz. En consecuencia las zonas del flanco oriental tales como bordoncillo y el tábano (figura 32), la humedad del aire tiende a aumentar con la altura debido al efecto de la condensación, sin embargo la precipitación no aumenta significativamente hacia el flanco occidental donde se encuentra el Galeras.

Finalmente, se puede decir que el sector de barlovento es más húmedo sobre el corregimiento del Encano con precipitaciones bastante altas en la estación de Santa Isabel la cual se encuentra al sur de la Cocha expuesta directamente a las condiciones amazónicas con valores de 2550 mm anuales. “En el Encano por otro lado, aunque está en la cuenca alta del Guamués, la precipitación no es significativamente alta con un promedio de 1300 mm anuales lo que seguramente por su ubicación en la parte baja de un valle intramontano, lo que genera un efecto de sombra frente a las lluvias que se presentan en esta vertiente”⁸¹. Mientras que para el lado de sotavento las masas de aire que lo gran pasar como se indica en la figura no pasan con gran cantidad de humedad sobre el sector sur del municipio de Pasto.

⁸¹ Paramos de Nariño, 2007. op. cit., p 68.

Figura 32. Nubes cumuliformes provenientes de la cuenca del Guamués, descienden y afectan las laderas altas de estas zonas e incluso al valle de Atriz.



Fotografía: Pedro F. García Z. 2014

CONCLUSIONES

De las 15 estaciones localizadas en el área de la cuenca, solamente 4 de ellas se encuentran dentro de la zona de estudio, razón por la cual la caracterización climática llevada a cabo en este estudio debe tomarse como una aproximación a las condiciones medias de la atmósfera.

No obstante lo anterior, y con la información existente, es posible establecer una serie de conclusiones generales acerca de las características climatológicas del área, especialmente en lo relacionado con precipitación, vientos y relieve.

Las condiciones espaciales de la precipitación que se observan en la cuenca del río Pasto, permiten destacar una zona principal: como lo es el núcleo Nariño, donde se acumulan precipitaciones de entre 2000 mm y 2300 mm en un año promedio, en comparación con otras zonas de la cuenca que no superan los 1200 mm anuales. Estos datos permiten afirmar que ésta área de la cuenca es de las más lluviosa.

Al observar la distribución de los meses lluviosos y los meses relativamente secos a lo largo de un año promedio, es posible proponer una división de la cuenca del río Pasto en tres sectores con comportamientos temporales distintos:

- ❖ En el flanco sur, se encuentran localizadas las estaciones de Botana y Obonuco el cual presentan un comportamiento significativamente bajo en los valores de la precipitación, debido en gran parte a la influencia de masas de aire cálidas y secas, que se generan en el valle del río Patía y que ascienden por los cañones de los ríos Juanambú, Guáitara y Pasto.
- ❖ En el sector suroriental de la cuenca, los procesos generadores de lluvia se deben a la influencia que genera la ZCIT sobre la vertiente oriental de la cordillera Centro-oriental en lo que se conoce como la cuenca alta del río Guamués, otro fenómeno que existe es el de convección orográfica que condiciona el establecimiento de un período lluvioso más intenso debido al choque de los vientos alisios del sureste contra la vertiente oriental de la cordillera. Las masas húmedas amazónicas se condensan debido a la disminución de la temperatura con la altura y generan nubes de lluvia, lo cual hace que esta zona sea significativamente más húmeda que la existente en el frente de sotavento al lado occidental de la cordillera.
- ❖ De esta forma puede afirmarse que la vertiente oriental es más húmeda que la occidental, lo cual puede explicarse por la influencia amazónica que existe sobre la primera. Las masas de aire impulsadas por los alisios descargan su humedad en dicha vertiente y alcanzan a sobrepasar la divisoria de aguas. Al lado occidental de la divisoria, las masas de aire enfriadas por la altura descienden y afectan las laderas altas de estas zonas e incluso al valle de Atriz.
- ❖ El sector noroccidental y nororiental de la cuenca es el que registra los valores más altos de la precipitación que corresponde al dominio del núcleo Nariño, el cual es más húmedo que el oriental debido a la condensación de masas de aire que

ascienden desde el cañón del río Pasto y Guátara . No obstante, según los datos del IDEAM, el flanco más lluvioso de la Cuenca es el norte del Galeras.

Las condiciones océano-atmosféricas presentes en el océano Pacífico ecuatorial, que permiten identificar las fases del ciclo ENOS (fenómenos de El Niño y La Niña), repercuten de una manera clara en las condiciones de la precipitación en el territorio colombiano. Durante el desarrollo de El Niño se identifica en la gran mayoría de casos una disminución de la precipitación con respecto a los promedios históricos, mientras que con el desarrollo de la Niña los valores históricos tienden a aumentar significativamente.

En relación con el fenómeno de El Niño se observa uno intenso, dos moderados y dos débiles, los cuales generaron una disminución en la precipitación en casi todas las estaciones en los siguientes años: 1987, 1992, 1995, 1998, 2003, 2005 y 2010. Es de destacar también El Niño de 1992 y el de 1998 el cual genera déficits altos en los valores de la precipitación debido a los fuertes impactos generados sobre las condiciones sociales y económicas de Colombia en dicho periodo. En contraste el fenómeno de La Niña produjo en las estaciones un aumento de la lluvia en los siguientes años: 1988, 1996, 1999, 2008 y 2010 destacándose este último como el de mayor incidencia en el aumento de la precipitación especialmente en la estación de Nariño cuando cayeron 3202 mm.

A nivel general puede concluirse que los vientos predominantes son los alisios del sureste, los cuales cobran mayor fuerza entre los meses de julio y septiembre transportando humedad desde la región amazónica y favoreciendo la formación de nubes orográficas en la vertiente oriental. Si bien estos vientos logran pasar al otro lado de la divisoria de aguas, su carga de humedad es bastante reducida razón por la cual no determinan la ocurrencia de lluvias en el sector, aunque sí afectan la distribución de humedad y el desarrollo de lloviznas y pequeñas ventiscas en sotavento.

De esta forma se concluye que existen tres tipos de corrientes de aire que influyen en la climatología de la zona andina nariñense, incluyendo por supuesto la cuenca del río Pasto. Éstas son: las masas de aire húmedas provenientes de la cuenca amazónica, las masas de aire húmedas provenientes de la llanura pacífica, y las masas de aire secas y cálidas que ascienden desde el valle del Patía a través de los cañones y valles de los ríos, Juanambú, Pasto y Guátara. La circulación del aire no solamente tiene que ver con la dirección y velocidad del viento, sino también con la distribución y comportamiento de la precipitación a lo largo y ancho de la cuenca.

Los sistemas montañosos como la cordillera de los andes, no solo sirven de barrera orográfica sino también como condicionante de la dirección de los vientos, de esta manera se evidencia que el relieve puede afectar el sentido en el cual circulan las masas de aire húmedo, condicionando así las zonas de mayor pluviosidad en la cuenca.

Por otra parte, los cañones del Pasto, Juanambú y Guátara, presentan un efecto chimenea sobre las masas de aire cálido y seco, el cual ejercen una condición seca sobre el valle de Atriz, esto hace que se incrementen las condiciones deficitarias de humedad como se observa en las isoyetas a mediados del año. Dicha situación se debe al desplazamiento al norte de la ZCIT y de los vientos alisios dependiendo de la época del año.

Otra situación climática evidente en el valle de Atriz, es la persistencia de las brisas “valle-montaña” conocidas como vientos anabáticos. Estas brisas recorren los valles desde su parte baja hacia las partes altas, a lo largo del recorrido del cauce del río. Al mismo tiempo generan corrientes ascendentes en las vertientes que delimitan el valle. Estas brisas recogen humedad a su paso y tienden a formar nubes de tipo cúmulos que desencadenan lluvias en las partes altas, lo cual se hace visible en los mapas de isoyetas.

Finalmente estas situaciones meteorológicas poseen varios elementos de análisis, por un lado demuestra que el fenómeno responsable de la precipitación en el costado norte y occidental es la convección orográfica producida cuando masas de aire ascienden por sus laderas y debido a la disminución de la temperatura se condensan generando nubes de lluvia. Por otro lado, se demuestra la tendencia seca del valle de Atriz en el que no se generan procesos convectivos locales lo suficientemente fuertes como para generar altos valores de precipitación durante el año.

BIBLIOGRAFÍA

ARTHUR N. STRAHLER Y ALAN H. STRAHLER. Geografía Física. Ediciones Omega, S.A. Barcelona: 3.^a Edición.1989. 448 p.

AYLLÓN, Teresa. Elementos de meteorología y climatología 2^a. ed. México, D.F.: Editorial Trillas; 2003. 210 p.

BENAVIDES BALLESTEROS, Henry Oswaldo & LEON ARISTIZABAL, Gloria Esperanza Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Informe Subdirección de Meteorología. Bogotá D.C.: IDEAM, 2007. 100 p. Nota Técnica IDEAM.

CASAS TORRES, José Manuel & HIGUERAS ARNAL, Antonio. Compendio de Geografía General. Madrid: Ediciones RIALP; 1977. p. 54 y 55. Citado por: <<http://es.wikipedia.org/wiki/precipitación>>

CORTEZ, A. RODRIGUEZ, M. REY, J. OVALLES, F. GONZALES, W. & PARRA, R. [on line].Caracterización espacio temporal de la precipitación en el estado de Guárico - Venezuela. (INIA-CENIAP), Recursos Agroecológicos, Apartado postal 4846, Maracay 2101, Estado Aragua, Venezuela. Disponible en internet: <http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/CVCS19/suelo_espacio_tiempo/SET25.pdf>

CUADRAT, José María & PITA, María Fernanda. Climatología 4 ed. Madrid: Editorial Cátedra; 2006. 483 p.

CUADRAT, José María. La Precipitación. En: CUADRAT, José María & PITA, María Fernanda. Climatología 4 ed. Madrid: Editorial Cátedra; 2006. p. 135 -191.

ESLAVA RAMÍREZ, Jesús A. Climatología y diversidad climática. Santafé de Bogotá D.C: el autor, 1993. 248 p.

ESLAVA RAMÍREZ, Jesús A. Climatología del Pacífico Colombiano. Santafé de Bogotá DC: el autor, 1994.

GARCÍA, Miguel Ángel, ABAURREA, Jesús, ASÍN L, Jesús & CENTELLES N, Alberto. Evolución de las precipitaciones en la cuenca del Ebro, caracterización espacial y análisis de tendencias. Oficina de Planificación Hidrológica, Departamento de Métodos Estadísticos. Universidad de Zaragoza 2002.

GIL OLCINA, Antonio & OLCINA CANTOS, Jorge. Climatología General. Barcelona: Editorial Ariel, 1997. 579 p.

GÜNTER D. ROTH (2003). Meteorología. Formaciones nubosas y otros fenómenos meteorológicos. Situaciones meteorológicas generales. Pronósticos del tiempo. Barcelona: Ediciones Omega, p. 300 (edición original alemana: Múnich, 2002).

HANN, Julius. Manual de Climatología, edición en alemán – 3 tomos. pag 1 revista Meteorológica. Vienna 1883. Disponible en Internet:<<http://www.contraclave.es/geografia/tiempoclima.PDF>>

HURTADO MORENO, Gonzalo. La precipitación en Colombia. Informe Subdirección de Meteorología. Bogotá D.C. IDEAM, 2000.39 p. Nota Técnica IDEAM.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Atlas Climatológico de Colombia. Bogotá D.C.: IDEAM, 2005. 219 p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. El Medio Ambiente en Colombia. 2 ed. Bogotá D.C.: IDEAM, 2001. 543 P.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. El Macizo Colombiano y su área de influencia. Módulo Hídrico. Santa Fe de Bogotá D.C.: IDEAM, 1999.189p.

JARAMILLO, A., y CHÁVEZ, B. Distribución de la precipitación en Colombia. Uso de la conglomeración estadística. En: Atmosfera, 1997, No 25, p 63 - 71. SOCOLMET, Santafé de Bogotá.

MESA SÁNCHEZ, Ó. J., POVEDA JARAMILLO, G., VÉLEZ UPEGUI, JAIME IGNACIO, MEJÍA VALENCIA, J. F., HOYOS ORTIZ, CARLOS DAVID, MANTILLA GUTIÉRREZ, R., & MONTOYA, M. I. (2000). [on line].Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. Disponible en Internet: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/9727/7/Figuras%20AA%203320.pdf>>

MONTEALEGRE, J.E., RANGEL, E., BERNAL, G., & SABOGAL, N. Estudio Sobre El Régimen de la Precipitación en Colombia. Publicación especial. HIMAT, Bogotá D.E.: Febrero 1989.

MONTEALEGRE BOCANEGRA, José Edgar. Escalas de la Variabilidad Climática. [on line]. IDEAM. Bogotá D.C. 9 p. Disponible en Internet: <http://www.rds.org.co/aa/img_upload/aea709feb9d6e6499a219fa83c2c5451/Escalas_de_la_variabilidad_clim_tica.pdf>

MONTEALEGRE, J. & PABÓN J. (2000). La Variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*. N° 2, 7-21.

NARVÁEZ BRAVO, Germán Edmundo. Análisis de la lluvia mensual y su interacción con el relieve y la circulación local en sectores de baja precipitación de la zona andina colombiana. Universidad de Nariño, Vicerrectoría de investigaciones, posgrados y relaciones internacionales. San Juan de Pasto: 2010. 185 p.

NEKLIUKOVA, Nina. Petrovna. [on line]. Geografía Física General I. La Habana, Ed. Pueblo y Educación, 1986 -- 357p. Disponible en Internet: <<http://www.ilustrados.com/tema/8601/Tiempo-clima-vision-para-estudio-clasificaciones.html>>

Organización Panamericana de la Salud (2000). [on line]. Crónica de desastres: Fenómeno El Niño 1997-1998. Washington, D.C. 2000. Recuperado de: Disponible en Internet: <<http://www.paho.org/spanish/ped/EINiño.htm>>

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Atlas internacional de nubes. Volumen. I: Manual de observaciones de nubes y otros meteoros. Publicaciones de la OMM, N° 407. Ginebra, Suiza 1993. Citado por: <<http://es.wikipedia.org/wiki/lluvia>>

PABÓN, José D., ESLAVA, Jesús & GÓMEZ, Raúl, 2001, Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia; Revista Meteorológica. Colombia. 4:47-59. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

PÉDELABORDE, P. Introduction à l'étude scientifique du climat. París, 1970. Disponible en Internet: <<http://www.contraclave.es/geografia/tiempoclima.PDF>>

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO PASTO, “RENACE RÍO PASTO”, Convenio Interadministrativo No.413 De 24 Septiembre De 2008, Entre: Municipio De Pasto, Corponariño y La empresa de acueducto (Empopasto). 250 p.

PROYECTO ESTADO DEL ARTE DE LA INFORMACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA DE LOS PÁRAMOS DE NARIÑO. Tomo II. Características Biofísicas de los Páramos de Nariño. Grupo Interdisciplinario Proyecto Páramos. San Juan de Pasto, Febrero de 2007. 276 p.

PUERTAS, Olga, CARVAJAL, Yesid & QUINTERO, Mauricio, Estudio de tendencias de la precipitación mensual en la cuenca alta-media del río Cauca, Colombia. Revista de la facultad de minas – Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín; Edición 169, Julio del 2011.

RANGEL MANTILLA, Ernesto. Tendencia Observada en los Regímenes de Precipitación de las Distintas Regiones Naturales de Colombia. Informe Subdirección de Meteorología. Bogotá D.C. IDEAM, 1996. Nota Técnica IDEAM.

RAMIREZ, E. MENDOZA, J. SALAS, E. & RIBSTEIN, .P. [on line]. Régimen espacial y temporal de las precipitaciones en la cuenca de la paz. Bulletin de l'Institut français d'études andines (IFEA). 1995, 24 (3): 391 – 401. Disponible en Internet: <[http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/24\(3\)/391.pdf](http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/24(3)/391.pdf)>

SZALAI, Sándor. Environmental Science Published for Everybody Round the Earth, Educational Network on Climate. El Tiempo y Clima, Bases. Servicio Meteorológico Húngaro. Budapest, 2004. Disponible en Internet: <http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1__Tiempo_y_frentes/-_Tiempo_y_clima_3b1.html>

VELASCO M, Lorenzo; MENDOZA, Juan, CAMPOS, Enrique & CASTILLO, Hermelinda. Análisis espacial de las lluvias en la Subcuenca del bajo Grijalva, [on line] 2DO congreso nacional de manejo de cuencas hidrográficas, Villahermosa, tabasco, México, mayo 2011, Disponible en internet: <http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/2011_cnch2_mon_lvelasco.pdf>